

Pratiques enseignantes et démarches d'investigation en sciences

Identité des auteurs

Nom : Jameau

Prénom : Alain

Appartenance institutionnelle : *IUFM Bretagne UBO – CREAD*

Courriel : alain.jameau@bretagne.iufm.fr

Nom : Hammoud

Prénom : Rim

Appartenance institutionnelle : *Institut français de l'Éducation (Ifé)*

Laboratoire S2HEP (Science et Société : Historicité, Education, Pratiques ; Université Lyon 1 et Ecole Normale Supérieure de Lyon)

Courriel : rim.hammoud@ens-lyon.fr

Nom : Triquet

Prénom : Eric

Appartenance institutionnelle : *IUFM-Université Joseph Fourier Grenoble 1 et S2HEP université de Lyon*

Courriel : eric.triquet@ujf-grenoble.fr

Nom : Gandit

Prénom : Michèle

Appartenance institutionnelle : *IUFM & Maths-à-Modeler, Université J. Fourier, Grenoble*

Courriel : michele.gandit@ujf-grenoble.fr

Nom : Guillaud

Prénom : Jean-Claude

Appartenance institutionnelle : *IUFM-Université Joseph Fourier Grenoble 1*

Courriel : jean-claude.guillaud@ujf-grenoble.fr

Identité du coordonnateur

Nom : Gueudet

Prénom : Ghislaine

Appartenance institutionnelle : *IUFM Bretagne UBO – CREAD*

Courriel : Ghislaine.Gueudet@bretagne.iufm.fr

Identité du réactant

Nom : Grangeat

Prénom : Michel

Appartenance institutionnelle : *UJF Grenoble 1 – L.S.E UPMF Grenoble 2*

Courriel : michel.greangeat@ujf-grenoble.fr

Problématique générale

Résumé : Ce symposium concerne les démarches d'investigation (DI) dans l'enseignement des sciences (sciences expérimentales et mathématiques). La diffusion de ces démarches dans l'enseignement est une évolution souhaitée par l'institution scolaire, que l'on peut considérer comme une modification de la forme scolaire. Les enseignants de sciences sont les principaux acteurs de cette évolution attendue. Dans ce symposium, nous proposons d'étudier leurs pratiques ; leurs connaissances, les ressources dont ils disposent pour concevoir et mettre en œuvre des DI, qu'il s'agisse d'enseignants débutants ou expérimentés.

Abstract: This symposium concerns inquiry-based science teaching (IBST; for experimental sciences and for mathematics). IBST in class is an evolution expected by the institution; it can be seen as a new educational form. Science teachers are key agents in this potential evolution. In this symposium we propose to study the science teachers practices; their professional knowledge; the resources they can draw on to design and set up IBST in class (for novice teachers or experimented teachers).

Resumen : Este simposio concierne la investigación científica en la enseñanza de las ciencias (ciencias experimentales y matemáticas). La difusión de la investigación en la enseñanza es una evolución deseada por la institución escolar, que se puede considerar como una modificación de la forma escolar. Los profesores de ciencias son los principales actores de esta evolución esperada. En este simposio, proponemos estudiar sus prácticas; sus conocimientos, los recursos disponibles para concebir y organizar la investigación en clase, que se trate de profesores principiantes o experimentados.

Mots-clés : Connaissances des professeurs, Démarches d'investigation, Didactique des sciences, Didactique des mathématiques, Représentations, Ressources

Introduction du symposium

Démarches d'investigation, forme scolaire et pratiques enseignantes

Les démarches d'investigation (DI) dans l'enseignement des sciences font l'objet d'incitations institutionnelles fortes, en France (B.O. 2007) comme au niveau international (Rocard et al. 2007). Elles peuvent être définies de manières diverses (Loisy et al. 2010, Matheron 2010, Lebaud & Gueudet 2012). Elles peuvent ainsi faire référence à un positionnement épistémologique, concernant les sciences et leur apprentissage ; elles peuvent aussi désigner une certaine organisation de l'enseignement en classe, voire des compétences à acquérir par les élèves (ces deux acceptions étant présentes, dans les textes officiels en France). Dans ce symposium, nous nous centrons sur l'aspect « organisation de l'enseignement », c'est-à-dire sur la conception d'un enseignement, et sur sa mise en œuvre en classe. Celles-ci peuvent présenter des caractéristiques différentes, selon les disciplines scientifiques en jeu ; cependant, dans tous les cas il s'agit de concevoir un enseignement des sciences dans lequel les élèves ont, vis-à-vis du savoir en jeu, des responsabilités importantes. Dans ce symposium, où nous adoptons une perspective didactique, nous interprétons le partage de responsabilités vis-à-vis du savoir entre le professeur et les élèves en termes de contrat didactique (Brousseau 1998). Nous postulons donc que les DI impliquent un contrat didactique spécifique. Nous soulignons, de plus, que les DI impliquent la construction d'un contrat, et d'un milieu, riches de potentialités pour le cours habituel.

Les recherches montrent que les DI représentent une évolution importante, par rapport aux pratiques usuelles (cette évolution est d'ailleurs un objectif recherché par les incitations institutionnelles). On peut considérer une telle évolution comme une modification de la forme

scolaire relative à l'enseignement des sciences. De plus l'objectif d'autonomisation des élèves est clairement associé à cette évolution ; ainsi l'étude des DI en sciences (Sciences de la Vie et de la Terre, Physique, Chimie et Mathématiques) s'inscrit naturellement dans la problématique du colloque.

Dans ce symposium, nous proposons d'aborder cette étude sous l'angle des pratiques enseignantes, dans la mise en œuvre de DI. En effet, les enseignants de sciences sont les principaux acteurs des évolutions souhaitées par les instructions officielles ; la modification potentielle de la forme scolaire qui est attendue ici demande que les enseignants développent des pratiques spécifiques (dans les DI, et en conséquence en dehors de celles-ci aussi) . Ceci soulève, du point de vue de la recherche, de nombreuses questions. Il s'agit d'abord d'identifier ce que sont ces pratiques : quelles sont les principales spécificités des pratiques enseignantes, pour permettre des DI en classe ? Dans le cas d'enseignants expérimentés, en partant de l'hypothèse (confirmée par de nombreuses recherches) que les DI requièrent des changements importants, par rapport aux pratiques habituelles, quels facteurs peuvent amener les évolutions nécessaires ? Les incitations institutionnelles sont-elles suffisantes ? Dans le cas d'enseignants débutants, est-ce que le développement de pratiques permettant des DI en classe rencontre des difficultés spécifiques, et lesquelles ? Quelle formation pourrait soutenir ce développement ?

De plus, les recherches sur les enseignants montrent que les pratiques sont fortement associées aux connaissances professionnelles des professeurs. On est ainsi amené à interroger les connaissances professionnelles qui seraient spécifiques des DI : quels types de connaissances permettent la mise en œuvre de DI en classe, à quelles évolutions de connaissances sont associées les évolutions de pratiques, observées ou attendues ?

Composition du symposium

Comme nous l'avons mentionné ci-dessus, ce symposium adopte une perspective didactique, principalement fondée sur la didactique des sciences, considérant que l'épistémologie de la discipline est un élément déterminant pour comprendre ce qui se joue dans le travail du professeur. Il aborde une large palette de disciplines concernées par les DI : Sciences de la Vie, Mathématiques, Physique et Chimie, ce qui nous permettra à la fois d'interroger les spécificités de chacune, et d'identifier les traits communs aux DI, au-delà des contenus particuliers.

L'intervention de Michèle Gandit, Jean-Claude Guillaud et Eric Triquet concerne les pratiques d'enseignants débutants, en Sciences de la Vie et en Mathématiques. Ils retiennent dans leur analyse des pratiques enseignantes trois axes : *la gestion de la complexité, le potentiel du milieu didactique et la nature des savoirs institutionnalisés*. Ils montrent la pertinence de ces axes, pour déterminer si une pratique donnée est susceptible de relever ou des DI ou non ; dans le cas des enseignants observés, des insuffisances apparaissent clairement, indiquant la nécessité d'une formation spécifique. La méthodologie utilisée accorde une importance centrale au déroulement en classe ; cependant, l'importance d'une préparation spécifique, et en particulier d'une analyse a priori approfondie apparaît clairement.

La contribution de Alain Jameau concerne les pratiques, et les connaissances professionnelles, d'enseignants expérimentés de Sciences Physiques au collège. Les demandes institutionnelles concernant les DI amènent ces enseignants à des changements de pratiques. Un suivi sur deux années consécutives permet d'observer des évolutions, dans la préparation du professeur et dans la mise en œuvre en classe, en fonction de ce que le professeur a retenu des interactions avec les élèves durant la première année. En utilisant des outils conceptuels issus de la didactique professionnelle, le lien entre pratiques et

connaissances professionnelles est conceptualisé en termes de *schèmes* ; et les évolutions sont modélisées par des *boucles de régulation*, de différents types. Cette approche éclaire ainsi les évolutions qui se jouent, lorsque les enseignants se rapprochent des DI, et suggère des pistes de formation.

La contribution de Rim Hammoud s'intéresse de même simultanément aux pratiques et aux connaissances des professeurs, en s'appuyant cette fois sur le cas d'un professeur enseignant la chimie au lycée. Le lien entre pratiques et connaissances est fait en ayant recours, en particulier, au concept de PCK (Pedagogical Content Knowledge) et de règle d'action (également issu de la didactique professionnelle) mise en œuvre à travers les PCK. Les règles d'actions possibles, dans le cas d'une DI, sont caractérisées en se référant au *modèle de l'enseignement scientifique fondé sur les DI (ESFI)*, qui retient six dimensions caractérisant ce qu'elle appelle les *orientations des professeurs pour les DI* (avec pour chaque dimension 4 niveaux). Ce modèle permet en particulier d'identifier, dans le cas de l'enseignant étudié, ses connaissances professionnelles spécifiques des DI, et montre l'importance des PCK relevant des difficultés des élèves et des stratégies d'enseignement.

Conditions et possibilités de développement de DI

Les contributions présentées ici alimentent la réflexion sur les DI, considérées comme pratique scolaire, en se centrant sur les pratiques enseignantes dans une perspective didactique. Leur confrontation soulève diverses questions ; nous en soulignons certaines ici.

Les DI sont parfois caractérisées comme les pratiques des chercheurs scientifiques. En retenant cette référence, il semble impossible de faire vivre des DI dans les conditions et contraintes d'un environnement scolaire (Matheron 2010) : le bouleversement de forme scolaire serait trop important, irréalisable. On peut alors se représenter ces DI comme un horizon, que l'on n'atteindra pas, mais vers lequel on peut se diriger. Qu'est-ce qu'une telle représentation apporte, quels sont ses inconvénients ? Est-ce que le modèle ESFI, avec ses 4 niveaux dans chaque dimension, se situe dans cette perspective ? Est-ce que les trois axes (proposés dans la contribution 1) : gestion de la complexité, potentiel du milieu didactique, nature des savoirs institutionnalisés, ont vocation à être de même « gradués », faisant apparaître des niveaux qui se rapprochent des DI ?

On souligne fréquemment le rôle particulier de l'enseignant, en classe, lors de la mise en œuvre de DI. Cependant les contributions de ce symposium soulignent aussi que la possibilité pour l'enseignant de faire vivre des DI dans sa classe semble fortement conditionnée par un travail de préparation spécifique. Cette préparation doit pouvoir permettre à l'enseignant de choisir des situations ayant un potentiel pour l'investigation ; de proposer un milieu adéquat aux élèves ; d'anticiper les différentes possibilités, pour accompagner la recherche menée par les élèves, les débats, sans fermer des pistes pour aller plus sûrement vers l'objectif d'enseignement. Quelles doivent être, alors, les caractéristiques d'une telle préparation ? La qualifier d'analyse a priori (Assude & Mercier 2007) ne suffit pas à préciser ses différentes dimensions - les formes possibles d'analyse a priori sont diverses, selon l'objectif poursuivi-, ni à identifier ce qui est spécifique de l'investigation. Quelles ressources peuvent être mobilisées, dans une telle préparation ? Il semble que l'observation des élèves en classe constitue une ressource essentielle. Mais là encore, des précisions sont nécessaires : qu'est-ce qui, dans les comportements des élèves lors de séances de type DI, se constitue en ressource pour le professeur ?

Par ailleurs les trois contributions soulignent l'importance des connaissances, des orientations, des représentations des professeurs, et la nécessité d'évolutions de celles-ci, pour aller vers des évolutions de pratiques. On peut alors questionner les rapprochements, et les différences, entre les concepts mobilisés ; en particulier, comment sont

conceptualisées les évolutions, et quelles sont les conséquences de ces conceptualisations, pour la proposition de formations d'enseignants ?

Ces questions pourront contribuer à guider les échanges au cours de ce symposium.

Bibliographie

Assude, T. & Mercier, A. (2007). L'action conjointe professeur-élèves dans un système didactique orienté vers les mathématiques. In G. Sensevy & A. Mercier Agir ensemble. L'action didactique conjointe du professeur et des élèves. (153-185). Rennes : Presses Universitaires de Rennes.

Brousseau, G. (1998). Théorie des situations didactiques. Grenoble : la Pensée Sauvage.

Bulletin officiel, hors série n°6, vol 2 du 19 avril 2007, <http://www.education.gouv.fr/bo/2007/hs6/default.htm>

Lebaud, M.-P. & Gueudet, G. (2012, février). Démarches d'investigation et collectifs en formation des enseignants. Conférence EMF 2012, Genève, Suisse.

Loisy, C., Trgalova, J., Monod-Ansaldi, R. (2010). Ressources et travail collectif dans la mise en place des démarches d'investigation dans l'enseignement des sciences. Actes des journées scientifiques DIES 2010. Lyon : INRP ISBN 978-2-7342-1201-0 • Réf. : BR067

Matheron Y (2010) « Démarches d'investigation » et Parcours d'Étude et de Recherche en mathématiques : entre injonctions institutionnelles et étude raisonnée des conditions et contraintes de viabilité au sein du système. Conférence invitée au colloque de la CORFEM, Juin 2010, Caen

Rocard M., Csermely P., Jorde D., Lenzen D., Walberg-Henriksson, H., Hemmo V. (2007). L'enseignement scientifique aujourd'hui : une pédagogie renouvelée pour l'avenir de l'Europe. Bruxelles: rapport à la commission européenne. [Retrieved september 08, from http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_fr.pdf]

**DEMARCHE D'INVESTIGATION EN SCIENCE, DEMARCHE EXPERIMENTALE EN MATHÉMATIQUES :
DEGRES D'AUTONOMIE DES ELEVES ET DES ENSEIGNANTS**

Michèle Gandit

*IUFM & Maths-à-Modeler
Université J. Fourier, Grenoble 1*

Eric Triquet

*Université Joseph Fourier-Grenoble 1
S2HEP, Université de Lyon*

Jean-Claude Guillaud

IUFM, Université Joseph Fourier, Grenoble 1

La recherche présentée ici s'inscrit dans le cadre du projet européen S-TEAM (Grangeat, 2011) qui promeut les démarches d'investigation (DI) en mathématiques, en sciences de la vie et de la Terre (SVT) et en sciences physiques et chimiques (SPC) (Triquet & Guillaud, 2011). Elle est également en lien avec des travaux sur la démarche expérimentale en mathématiques développés dans l'équipe Maths à Modeler (Giroud, 2011 ; Gandit, Giroud & Godot, 2011). Notre travail porte sur la mise en œuvre des DI en classe par des enseignants débutants. Nous présentons ici le second volet de notre recherche, qui vise à dégager l'importance des représentations de ces enseignants et des effets de la formation dans la mise en œuvre des DI en classe. L'analyse porte sur des extraits de séances filmées au cours desquelles les enseignants disent mettre en œuvre une DI.

Cadre problématique

Sur le plan épistémologique, la première partie de notre étude (Gandit, Triquet & Guillaud, à par.) révèle qu'en sciences expérimentales, les représentations des enseignants débutants vont dans le sens d'un inductivisme fort, qui s'oppose à la posture hypothético-déductive mise en avant dans les DI, et qu'en mathématiques, il apparaît nettement une dimension expérimentale. Dans le domaine didactique, ces jeunes enseignants se déclarent globalement favorables à l'articulation de la démarche autour d'un problème, à la prise en compte des conceptions des élèves et à la place du débat dans la classe. Mais, dans le même temps, se révèle une certaine réticence, de la part de ces professeurs, à entrer par la complexité et à laisser s'exprimer les erreurs des élèves. Nous nous interrogeons sur la mise en œuvre qu'ils proposent en classe des DI : dans quelle mesure, ces représentations exprimées par les enseignants déterminent-elles la mise en œuvre en classe des DI ? Celles-ci sont analysées à l'échelle *microscopique*, ce qui nous permet de pointer quelques phénomènes liés à l'évolution du milieu et du contrat au cours des séances. En arrière plan, ces concepts de contrat et de milieu didactiques (Brousseau, 1998) donnent un cadre pour l'analyse des dynamiques en jeu dans les situations de classe.

Après une très rapide présentation de celles-ci, nous limitant aux mathématiques et aux SVT, nous présentons successivement trois axes didactiques, suivant lesquels nous comparons les disciplines : *la gestion de la complexité, les potentialités du milieu didactique et la nature des savoirs institutionnalisés.*

.Présentation des séances étudiées en SVT et en mathématiques

En SVT, la séance choisie concerne la classe de 6^{ème} et s'inscrit dans la partie « Des pratiques au service de l'alimentation humaine ». Pour cette séance l'enseignante a fait le choix de coupler deux sous-thématiques habituellement traitées en deux séances

distinctes : 1) la mise en évidence des constituants de quelques aliments de base ; 2) le repérage de constituants communs entre un aliment *brut* (prélevé dans la nature) et un aliment issu de sa transformation par l'Homme (exemple : lait / beurre). Il s'agit, au terme de cette séance, de construire les associations suivantes : lait / beurre (via le constituant commun *graisse*) ; pomme / jus de pomme (via le constituant commun *sucres simples-glucose*) ; farine / pain (via le constituant commun *sucres lents-amidon*).

En mathématiques, nous nous référons à deux séances, animées chacune en classe de quatrième, par deux enseignants, Pierre et Antoine. Elles ont toutes deux pour point de départ un problème, amené par le professeur, que les élèves doivent chercher, par groupes, chacun d'eux devant ensuite présenter ses résultats à toute la classe. Dans la classe d'Antoine, le problème est celui du *dénombrement des diagonales d'un polygone* : il s'agit, pour un polygone d'un nombre quelconque de côtés, d'exprimer le nombre de ses diagonales en fonction du nombre de ses côtés. Une expérimentation menée sur des polygones à quatre, cinq, six... côtés permet de découvrir une méthode pour dénombrer ces diagonales. Dans la classe de Pierre, est posé le problème de la *duplication du carré* : comment découper deux carrés de même dimension sans perte de matière dans le but d'en créer un seul plus grand ? Quels sont alors l'aire et le côté du nouveau carré ? Plusieurs découpages conviennent, comme, par exemple, celui des deux carrés de départ suivant une diagonale, l'assemblage des quatre triangles rectangles isocèles ainsi obtenus fournissant le nouveau carré. Si, pour une classe de quatrième, le *potentiel didactique* de ce problème est faible (Gandit & al, à par.), il n'en n'est pas de même de celui du problème de dénombrement des diagonales d'un polygone (Balacheff, 1988).

La gestion de la complexité

En référence aux conceptions sur ce point des jeunes enseignants, saisies lors du premier volet de l'étude, nous pointons la difficulté qu'ils rencontrent pour *gérer la complexité*, soit liée à leurs propres choix didactiques, soit introduite par les élèves, et là, comme nous allons le voir, rapidement refusée par l'enseignant. En effet, « La complexité n'est pas seulement le problème de l'objet de connaissance ; c'est aussi le problème de la méthode de connaissance nécessaire à cet objet » (Morin, 1986, p. 232). Nous allons voir combien cette *méthode de connaissance* peut être différente pour les élèves et le professeur, conduisant celui-ci à *fermer* la méthode d'investigation.

Dans la séance de **SVT**, l'enseignante [P], après avoir posé un questionnaire *d'entrée* dans la situation, invite les élèves à formuler des hypothèses. Le foisonnement de celles-ci introduit une *complexité* dans l'étude proposée. L'analyse de la vidéo fait apparaître que la jeune enseignante s'efforce de réduire cette complexité qu'elle a elle-même suscitée.

La phase de formulation des hypothèses¹ est introduite par le questionnaire suivant :

P : Alors, j'ai choisi six exemples. Le premier exemple, le pain, le jus de pomme, le beurre, la farine, une pomme et du lait. Et vous allez essayer d'imaginer quel est le constituant qui est en plus grande quantité dans chaque aliment ? On va aller le vérifier après.

L'enseignante propose donc de réfléchir sur six exemples choisis par elle. Si cette limitation des aliments étudiés peut s'expliquer par l'exigence de réduire le nombre d'objets d'étude, il est plus surprenant de constater qu'elle va se doubler d'une seconde limitation portant cette

1

Il convient de noter qu'il va s'agir ici plus pour les élèves d'envisager des prédictions que de formuler des hypothèses, prédictions pour lesquelles les élèves ne peuvent compter que sur leurs connaissances préalables, partiellement réactivées dans la phase précédente.

fois sur les constituants à rechercher. Les propositions des élèves sont au départ nombreuses et variées, mais certaines, bien que pertinentes, ne vont pas dans le sens des attentes de l'enseignante. Ils proposent notamment le calcium pour le lait ou encore les vitamines pour le jus de pomme. Cette diversité des propositions met à mal le projet de l'enseignante. En réaction elle va demander aux élèves de se limiter seulement à quelques constituants, ceux conformes à ses attentes au vu des objectifs qu'elle s'est fixés, mais qu'elle n'a pas pris la peine d'explicitier.

A propos du lait (*l'enseignante attend le terme « graisses »*) :

Léa : Du calcium.

P : Ah ouais, mais moi je veux soit sucres lents, soit sucres rapides, soit graisses.

E : Sucres lents.

P : Lents tu dis ?

E : Oui.

P : Est-ce que vous avez d'autres idées ?

E : Sucres rapides. (... ?)

P : On peut mettre autre chose, si vous n'êtes pas d'accord, tout le monde est d'accord. Malgré les efforts de l'enseignante pour mettre à l'écart certaines hypothèses, celles-ci vont continuer à s'exprimer jusqu'à la phase d'élaboration des protocoles. De fait, cette seconde phase va être l'objet d'une double fermeture : sur le plan théorique d'abord (par la restriction des constituants à repérer), puis pratique (quant aux possibilités d'expériences). En effet, l'enseignante impose d'abord l'utilisation d'un matériel choisi par elle au regard des seuls tests « utiles » aux mises en évidence souhaitées. Elle distribue ensuite une *fiche-protocole* (fiche guide des expériences à réaliser) qui vient réduire de façon brutale et drastique, non seulement la complexité de la tâche, mais aussi la marge d'action des élèves.

L'exemple suivant, proposé **en mathématiques**, est extrait de la séance dans la classe d'Antoine, sur *le nombre de diagonales d'un polygone*. Il montre comment la complexité, introduite par les élèves, conduit le professeur à fermer certaines pistes de la recherche.

P : Les polygones, d'accord... Qu'est-ce que c'est qu'un polygone ?...Quelle définition donnez-vous d'un polygone ?

Les élèves donnent une réponse inaudible, le professeur répond qu'il est d'accord. On décode dans ce passage l'intention du professeur de demander une définition aux élèves, ce qui, dans le contrat usuel, n'est pas très courant. Nous y revenons ci-dessous. D'autres éléments saisis plus loin nous autorisent à dire que les élèves ont envisagé des polygones non convexes (certaines diagonales ne sont pas incluses dans l'intérieur du polygone). L'étude de tels cas apporte de la complexité dans le traitement du problème. Nous faisons l'hypothèse que les élèves ont choisi de tels polygones concaves en guise *d'expérience cruciale* (Balacheff, 1988). Le professeur est déconcerté par cette complexité qu'il considère comme inutile. Il poursuit :

P : Alors est-ce que vous pensez que vous utilisez les polygones les plus simples pour répondre à la question ? Comme... vous pouvez... enfin ça va marcher de la même manière. Mais...je pense... utilisez des trucs un peu plus conventionnels au départ. Pour chercher, c'est mieux, plus facile, plutôt que de partir directement dans des choses très compliquées.

La question posée (à laquelle les élèves ne peuvent évidemment pas répondre) témoigne de la volonté du professeur de faire usage de questions, et non pas d'affirmations, au cours de ses interventions. Ses hésitations montrent qu'il veut cependant *fermer l'ouverture* accordée aux élèves dans la recherche, pour faire *avancer la phase de conjecture*. Leur méthodologie de recherche n'est pas conforme à celle qu'il utiliserait lui-même dans une phase de conjecture sur un problème de ce type. Comme en SVT, une *analyse a priori* plus fine aurait

cependant pu lui permettre d'anticiper ce choix des élèves d'entrer par la complexité. En mathématiques ce choix a été identifié par Balacheff (1988) comme un des stades d'accès à la preuve. Un autre point (qui sera repris dans le paragraphe suivant) est *la pauvreté du milieu* de l'élève sur le plan de la *démarche expérimentale* : *choisir des cas particuliers non triviaux, dont l'étude soit susceptible de mener à la découverte de ce qui est généralisable derrière le particulier* est un savoir de la démarche expérimentale en mathématiques qui n'est pas acquis par les élèves. Cette insuffisance amène le professeur à indiquer la voie pour arriver plus rapidement au résultat qu'il attend.

P : Après vous pouvez essayer de trouver la règle avec les polygones, on va dire, classiques, et après vérifier que ça marche avec ceux qui sont un peu plus tordus. Mais au départ, pour chercher, je pense que c'est plus simple de partir avec quelque chose... le polygone à quatre côtés, là, j'ai pas fait de côté entrant ou de chose comme ça...

Le professeur poursuit sa proposition de méthode de recherche en l'argumentant par le fait que *c'est plus simple*. Il renvoie au polygone à quatre côtés qu'il a dessiné sur la feuille de consigne, polygone qu'il a choisi convexe. Cette *fermeture* des pistes de recherche limite l'imagination pourtant importante en mathématiques, notamment dans cette phase de découverte. Enfin, la dernière remarque du professeur montre la force du contrat didactique qui est en jeu. Les élèves devaient décoder l'implicite derrière les figures proposées par le professeur dans l'énoncé : *la convexité implicite des figures sur lesquelles on devait expérimenter*. Ceci ne se justifie aucunement sur le plan mathématique.

Dans ces deux exemples, il apparaît que les deux enseignants n'ont pas anticipé cette *complexité*, apportée pourtant naturellement par les élèves. Il s'agit sans doute d'un défaut *d'analyse a priori*. Cette complexité, non assumée, est donc rejetée par les deux enseignants qui opèrent une réduction de la situation. Ceci est à relier, nous semble-t-il, à la coexistence de représentations contradictoires, entre les plans épistémologique et didactique, qui se sont révélées chez les enseignants débutants dans la première partie de notre étude, en particulier, à leur volonté de ne pas entrer par la complexité. Mais contrairement à l'entrée par les *tâches complexes* préconisée par les instructions officielles, il s'agit ici d'une complexité *subie* par l'enseignant, développée à son insu, et non pas choisie et mise en place par lui au niveau de son ingénierie. C'est là qu'intervient le second point de notre étude.

Les potentialités du milieu didactique

Nous abordons donc à présent cette complexité au regard des *potentialités* du milieu didactique, qui vont se révéler faibles et dont elle est, nous semble-t-il, une expression, ainsi qu'au travers des efforts de régulation développés *en acte* par les enseignants observés.

En SVT, comme dit plus haut, la phase d'expérimentation débute avec une consigne qui réduit d'emblée la complexité générée par la formulation des hypothèses :

P : Donc, ça va être à vous de trouver avec le matériel que vous avez sur les plateaux ... tout le monde regarde les plateaux ... comment prouver – c'est dur – que dans tel aliment, il y a de la graisse, que dans tel autre, il y a des sucres rapides (...)

L'ensemble des éléments disposés sur le plateau se compose d'une feuille de papier destinée à révéler la présence de graisse, d'un flacon d'eau iodée pour la mise en évidence des sucres lents (amidon) et de bandelettes de glucose pour attester de la présence de sucres, dits *rapides*. La difficulté est double ici pour les élèves :

- d'une part, leurs connaissances de chacun des constituants à identifier est partielle ; les termes *sucres lents* et *sucres rapides* sont nouveaux et n'évoquent rien de précis pour eux, et celui de graisse demeure à un niveau de sens commun ;
- d'autre part, ils n'ont ni l'expérience, ni la maîtrise des savoir-faire pour mettre en place les protocoles demandés (en attribuant un rôle à chacun des éléments du plateau expérimental).

Il semble donc qu'à aucun moment la jeune enseignante ne se soit interrogée à propos des savoirs nécessaires à l'entrée dans la situation proposée. On pointe là des *insuffisances ou lacunes du milieu didactique* proposé par l'enseignante, lesquelles en retour ont des incidences fortes sur le contrat didactique. Cela est d'autant plus marqué ici qu'aucune ressource ou moyen permettant de construire les savoirs notionnels et pratiques faisant défaut ne sont à la disposition des élèves. Constatant assez vite que les élèves ne sont pas en mesure de satisfaire aux conditions posées, l'enseignante va alors progressivement intervenir, d'une part pour définir la nature des constituants chimiques à rechercher, d'autre part pour expliciter les procédures de test à mettre en place. Mais dès lors, elle prive les élèves de la possibilité de les découvrir par eux-mêmes.

Une première aide est apportée sur les connaissances, via plusieurs tentatives de définition des différents constituants².

P : (...). On peut l'appeler comment les sucres rapides ? Un des sucres rapides que l'on connaît.

E : Sucre (... ?)

P : Vous avez déjà entendu le glucose ?

C : Si, non, le glucose fructose.

P : Il y en a dans les bonbons, c'est des sucres rapides. OK. Chut. Vous allez aussi essayer de prouver comment on peut montrer qu'il y a des sucres lents. Vous connaissez le nom des sucres lents ? Ça c'est un peu plus dur, je ne pense pas que vous l'ayez déjà entendu. Tu veux essayer Marc ?

Marc : Heu ... ?

P : Sucres lents, je rappelle, c'est ceux qui donnent beaucoup d'énergie, avant de faire du sport comme dans les pâtes etc. Sucres rapides, c'est ceux qui ont le goût sucré. Et les graisses, c'est tout ce qu'il y a dans le saucisson, dans le beurre, dans l'huile.

Le fait que l'un des types de sucres soit qualifié de *rapide* et l'autre de *lent* demeure inexpliqué, mais de façon surprenante aucun élève ne soulève la question. Le point important est que le terme *glucose* est lâché par l'enseignante. Il va permettre d'attribuer un rôle aux bandelettes (à *glucose*) présentes sur le plateau. Pour les deux autres constituants, la tâche est encore plus complexe. Là, des difficultés d'ordre méthodologique, concernant l'utilisation du matériel d'expérience, viennent s'ajouter aux obstacles notionnels. L'enseignante apporte cette fois une aide sur les procédures à mettre en œuvre en consacrant quelques minutes à chaque groupe pour donner les consignes et les informations utiles.

Prenons l'exemple de la mise en évidence des graisses répétée à huit reprises :

E : Je ne comprends pas vraiment l'histoire de la feuille de brouillon.

P : Alors, la feuille de brouillon, on a dit que quand on mange un croissant bien gras...

E : Ca devient transparent.

P : Voilà, eh bah à ton avis ?

2

Elle proposera plusieurs définitions successives plus ou moins univoques. Dans l'une d'elles sucre lent sera associé à féculent.

Les graisses resteront définies à un niveau macro de savoirs communs, dans le registre du quotidien.

E : Bah je ne sais pas.

P : Alors, on répète, je mange un croissant, je prends mon cours de SVT.

E : Si c'est transparent, c'est que de la graisse.

P : Très bien. Donc, là transparent, on peut dire que il y a présence de... ?

E : Graisse.

P : Si c'est opaque, absence de... ?

E : Graisse.

P : C'est ça qu'il y a à marquer dans ce tableau là, absence ou présence.

L'enseignante va procéder de la même manière pour la mise en évidence des sucres lents et du glucose, en utilisant même une posture de *monstration*. Ses interventions répétées fonctionnent comme des régulations qui viennent pallier les insuffisances du milieu didactique de la situation. Mais ce faisant l'enseignante réduit d'autant la marge d'action et de responsabilité des élèves et modifie les termes du contrat didactique.

En mathématiques, cette *insuffisance du milieu* de l'élève sur le plan de la démarche expérimentale, s'illustre déjà, au cours de l'extrait de séance décrit plus haut, dans les interventions du professeur, où il indique aux élèves une méthode de recherche, où il explicite qu'il faut *tirer une règle* de l'étude de différents cas. Ceci montre que les élèves n'ont pas acquis ce savoir fondamental propre à la démarche expérimentale en mathématiques, qu'on peut formuler par *Voir le généralisable derrière le particulier et formuler une conjecture*. D'ailleurs ce dernier mot n'est pas connu des élèves, puisque le professeur le remplace par le mot de *règle*. Tout au long de cette séance, on voit celui-ci expliciter ce point de *recherche d'une règle*, de groupe en groupe. Le *statut de conjecture* n'appartient pas au milieu de l'élève. Voici un autre extrait de la même séance, qui montre cette fois, que ce sont deux autres savoirs propres à la démarche expérimentale qui sont absents du milieu de l'élève :

P : Essayez de faire des essais... Tu as une idée-là, tu dis, pour avoir le nombre de diagonales on divise le nombre de côtés par deux. Donc ça, c'est une idée de départ...

Essayez de vérifier si sur les autres cas, ça marche aussi, et vous confirmerez cette idée, ou alors vous essayerez de la réfuter et vous en trouverez une autre, d'accord ?

Le professeur demande aux élèves de faire des essais et montre comment on peut réfuter une conjecture : il donne lui-même un contre-exemple en évoquant un polygone à cinq côtés, sans toutefois prononcer le mot de contre-exemple. Ainsi les deux autres savoirs évoqués ci-dessus, 1) *Expérimenter sur des cas particuliers bien choisis*, 2) *Invalider une conjecture par un contre-exemple*, ne sont pas non plus disponibles chez ces élèves. Le professeur, qui ajoute dans chaque groupe des consignes pour que les élèves fassent fonctionner ces savoirs, ne peut faire partager à ceux-ci sa problématique de *démarche expérimentale dans la résolution d'un problème*. La dévolution ne se fait pas. La confrontation au groupe-classe aurait pu permettre une amorce de fonctionnement de ces savoirs, sur lesquels l'institutionnalisation aurait dû ensuite être faite (Gandit, Triquet & Guillaud, 2012).

Ce pilotage de la mise en œuvre de la DI, caractérisé par une certaine ouverture initiale, suivie d'une fermeture progressive et/ou d'un guidage plus ou moins serré, peut être considéré comme une caractéristique commune aux jeunes enseignants de mathématiques et de sciences expérimentales. Ici encore cette instabilité des pratiques est à mettre en lien, nous semble-t-il, avec la contradiction constatée dans leurs représentations, entre les domaines épistémologique et didactique. Par contre les différences disciplinaires semblent plutôt s'exprimer au niveau des enjeux d'apprentissage effectivement pris en charge dans les séances observées.

Les enjeux d'apprentissages : savoirs notionnels versus savoirs liés à la DI

Sur le plan des savoirs visés au travers de la mise en œuvre d'une DI, les actions en classe des enseignants débutants en mathématiques semblent en effet se distinguer de celles des enseignants en sciences expérimentales : en mathématiques, les enjeux de savoirs liés à la DI restent forts – nous parlerons de *savoirs de type démarche*, nous avons précédemment parlé de *savoirs transversaux* (Gandit, Giroud & Godot, p. 37) – en sciences expérimentales, ils sont abandonnés au profit des objectifs notionnels. Nous nous intéressons ici à deux phases intimement liées : la mise en commun des résultats et l'institutionnalisation qui donnent à voir les véritables enjeux du travail mis en place.

Lors de la séance **de SVT**, dans la phase de mutualisation des résultats issus des tests d'identification menés en groupe, on observe que le savoir de l'enseignante fait autorité dès lors que les résultats expérimentaux ne sont pas conformes à ceux attendus. Pour illustrer ce fait nous présentons un court extrait, toujours à propos du lait. Compte tenu des objectifs qu'elle s'est fixés, l'enseignante attend pour le lait, rappelons-le, la mise en évidence de graisse. Mais dans la mesure où le lait est un liquide, le test dit *de la feuille de papier* se révèle – de fait – peu probant ; et celui des bandelettes de glucose semble également poser problème. En conséquence, certains élèves contestent la possibilité de pouvoir donner un résultat, mais la discussion va tourner court, au profit des visées de l'enseignante.

P : Alors, Léo, est ce qu'il y a des graisses dans le lait ? Vous avez trouvé ou pas vous ?

C : Oui ... heu non.

P : Quel groupe a trouvé qu'il y a des graisses dans le lait ?

E : **On ne peut pas prouver, le lait c'est un liquide.**

P : Très bien (*elle met une croix*). **Alors, on peut mettre entre parenthèses, en effet il y en a (*elle inscrit O*).**

E : Heu ?

P : **Pourquoi ? parce qu'on verra ça plus tard ...**

Glucose ?

C : Non, oui, non, oui, il y en a, il n'y en a pas.

Anthony : C'est devenu violet.

P : **Logiquement, vous n'auriez pas dû en trouver, il se peut que votre bandelette ait viré**, je vous crois. (*Le professeur marque O et N*)

On constate que l'enseignante tranche pour le *oui* (présence de graisse), alors même qu'un élève lui objecte que le test n'est pas possible³, mais il est important pour elle, comme nous l'avons précisé plus haut, de mettre en avant la présence de ce constituant dans le lait de façon à relier lait et beurre. Ce qui est frappant, c'est qu'elle oppose ici son savoir aux résultats expérimentaux, témoignant du peu d'importance accordée à ce travail empirique et donc aux objectifs qui pourraient lui être assignés.

L'institutionnalisation, en occultant ces résultats *non-conformes* pour mieux se recentrer sur les savoirs visés, confirme ce que laissait entrevoir la phase précédente.

P : Très bien. Alors maintenant **on a vu que c'était logique que l'on retrouve la même chose** dans la pomme et le jus de pomme car la pomme servait à faire le jus de pomme. On a vu que c'était logique de retrouver la même chose dans le lait et dans le beurre puisque le lait servait à faire le beurre. On a trouvé logique de retrouver la même chose dans la farine et le pain puisque la farine sert à faire le pain.

Le savoir institutionnalisé en toute fin de séance renvoie en fait à un problème maintenu *caché* (Triquet & Guillaud, 2012) tout au long de la séance. Il concerne le lien entre un aliment *brut* et un aliment issu de sa transformation, sur la base d'un constituant commun mis en évidence dans les deux aliments. Mais ce qu'il nous importe de souligner ici, c'est qu'en définitive, ce sont bien les savoirs notionnels visés par l'enseignante qui s'imposent au détriment des objectifs méthodologiques liés à la démarche⁴. On l'a vu, à l'instant avec l'absence de discussion sur les résultats expérimentaux, mais c'était aussi le cas lors de la phase de formulation des hypothèses court-circuitée par des enjeux notionnels.

En mathématiques, l'extrait se situe au moment de la mise en commun des travaux de chaque groupe, par présentation d'un transparent, proposant leur réponse au *problème de duplication du carré*. Le professeur reprend la présentation d'un groupe qui vient de proposer une solution dans un cas particulier (voir figure 1).

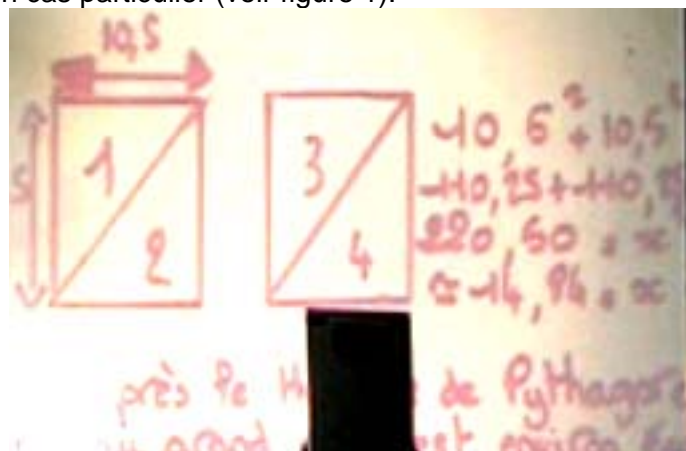


Figure 1 : le transparent du groupe qui a mobilisé le théorème de Pythagore

Le transparent montre un découpage de deux petits carrés de côté 10,5, suivant une diagonale, dont la longueur est calculée grâce au théorème de Pythagore, celle-ci devenant le côté du carré d'aire double. Le professeur commente :

P : [...] avec le théorème de Pythagore, vous avez réussi à calculer la diagonale du carré du début, et la diagonale du carré du début, en fait, avec votre découpage, c'est la longueur du côté du nouveau carré. Donc, comme ça, vous avez calculé l'aire, et vous avez trouvé le double, au niveau des aires. Donc, par rapport au groupe d'avant, qu'est-ce qui s'est passé ?

Certains élèves répondent : « B...hein rien. » Le professeur continue, en s'adressant aux élèves « du groupe d'avant » :

P : Vous avez le droit de parler, le groupe d'avant, comment vous avez fait, vous, puisque vous avez dit que les longueurs, c'était le double, par contre les aires, c'étaient pas les doubles. Donc est-ce que ...il y a quelque chose qui marche pas dans votre transparent ?

Les élèves à nouveau répondent négativement. Alors le professeur présente une deuxième fois le transparent de ce groupe :

4

Un objectif lié à la démarche d'investigation aurait été précisément d'analyser l'écart entre les résultats obtenus et les attentes de l'enseignante ; un autre, de porter un regard critique sur les conditions expérimentales.

P : Bon on va le remettre alors. Merci Bastien et Marianne [ce sont les deux élèves qui viennent de présenter leur solution]. Donc Bastien et Marianne nous ont montré qu'avec le théorème de Pythagore, on pouvait trouver la longueur du nouveau carré. Vous, vous avez dit, c'est pas si compliqué, si on a la longueur du petit carré, la longueur du grand carré, b...hein, c'est le double. Vous aviez 2,5, vous avez dit... b...hein...l'aire du grand carré, c'est 5 cm,... euh, la longueur du grand carré, c'est 5 cm. Le problème, c'est qu'on était tous d'accord pour dire que les aires, si on faisait la somme des deux petits carrés de même taille qu'on avait au début, eh b...hein, l'aire du grand carré, c'était l'aire du grand carré, donc c'était le double..., et vous, votre raisonnement, y a pas le double, donc c'est qu'il y a un problème. Et le seul problème qu'il peut y avoir là-dedans, c'est quand on dit que quand on a un carré au début de 2,5 cm, est-ce que le carré plus grand, son côté, il fait 5 cm ? Est-ce que vous l'avez vérifié avec votre règle ?

Ces extraits montrent que le professeur institutionnalise bien *sur le fait qu'il y a un problème*, soit sur l'existence d'une contradiction entre les résultats de deux groupes. C'est bien une institutionnalisation sur un savoir de *type démarche* : *formuler une question ou un problème*. Il n'omet pas non plus de pointer l'utilisation par un des groupes du théorème de Pythagore, un savoir notionnel important au niveau de la classe de quatrième, qui a été mobilisé par les élèves, sans indication de la part du professeur. Cette reprise par le professeur du théorème de Pythagore aurait pu être doublée par l'institutionnalisation d'un autre *savoir de type démarche* : *mobiliser des connaissances non explicitement indiquées*.

Ainsi ces premiers résultats permettent de pointer des différences entre les disciplines. En sciences expérimentales, les professeurs stagiaires semblent centrés sur la construction de savoirs notionnels, appréhendés au travers d'un canevas stéréotypé, correspondant à leur interprétation des instructions officielles. Notre première étude montrait un positionnement des enseignants de sciences expérimentales plutôt favorables à un enseignement fondé sur la DI, mais sans réelle assise épistémologique, au contraire des professeurs stagiaires en mathématiques. Ceux-ci apparaissent plus libres par rapport au cadre institutionnel. Ils privilégient notamment des modalités de travail qui leur semblent propices à l'acquisition par les élèves de *savoirs propres à la démarche*. Toutefois, dans les deux disciplines, l'étude de l'action *effective* des élèves, en relation avec les savoirs en jeu et l'action du professeur, montre des difficultés relatives, d'une part à l'installation d'un nouveau contrat orienté vers l'investigation, d'autre part à l'acquisition des savoirs par les élèves.

Conclusion

Les trois séances analysées témoignent d'une volonté bien réelle chez les jeunes enseignants de s'inscrire dans les démarches d'investigation. Cette volonté apparaît conforme à ce que laissait envisager notre étude des représentations. Au départ tout au moins, ils « jouent » le jeu de laisser ouverte l'investigation proposée aux élèves. Mais n'ayant pas développé d'analyse *a priori*, deux des enseignants se trouvent pris au dépourvu par les interventions des élèves, d'autant plus que leurs pratiques reposent sur des représentations encore contradictoires, entre les domaines épistémologique et didactique. Ils réagissent alors par une fermeture plus ou moins brutale des situations proposées. Concernant le troisième enseignant évoqué (Pierre, en mathématiques), c'est le peu de potentiel didactique du problème choisi, comme nous l'avons déjà dit, qui aurait pu être mis en évidence par une analyse *a priori*. Ces exemples étudiés montrent combien cette lacune les handicape dans la mise en œuvre pratique des DI. En effet, elle les prive de la possibilité non seulement d'anticiper les comportements des élèves, mais encore de diagnostiquer les *insuffisances du milieu mis en place*. On pourrait dire qu'ils ne se donnent pas les *moyens didactiques* des ambitions qui sont les leurs au départ. De ce point de vue les régulations « à

chaud », opérées notamment par l'enseignante de SVT, ne sont pas plus que des pansements apportés après coup. De fait, il importe en formation de faire comprendre à ces jeunes enseignants qu'enrichir le milieu ne consiste pas à apporter les savoirs qui font défaut, mais plutôt à introduire les conditions pour que les élèves se les approprient par eux-mêmes⁵. C'est peut-être par ce travail – d'analyse *a priori*, de construction du milieu – que l'on parviendra à lever leurs réticences à une entrée par la complexité inhérente aux démarches d'investigation. Mais, malgré sa portée limitée, cette étude met en lumière l'importance d'agir en formation simultanément sur les représentations des enseignants et sur leurs pratiques pour susciter le développement de démarches à la fois ouvertes et fondées sur une responsabilité scientifique importante accordée aux élèves.

Bibliographie

Balacheff, N. (1988). Une étude des processus de preuve en mathématique chez des élèves de Collège. Thèse de l'université Joseph Fourier, Grenoble.

Brousseau, G. (1998). Théorie des situations didactiques. La Pensée Sauvage : Dijon

Gandit, M., Giroud, N. & Godot K. (2011). Les situations de recherche en classe : un modèle de situation pour travailler la démarche scientifique en mathématiques. In M. Grangeat (Ed.), *Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique*. (pp. 37-49). Lyon : INRP.

Gandit, M., Triquet, É., & Guillaud, J.-C. (2011). Démarches scientifiques, démarches d'investigation en sciences expérimentales et en mathématiques : Représentations d'enseignants stagiaires de l'IUFM (symposium ARDIST sur les démarches d'investigation en science), in : *actes du congrès international de l'AREF (Actualité de la recherche en éducation et en formation)*, université de Genève, 13-16 sept ; 2010 (<https://plone2.unige.ch/aref2010>).

Gandit, M., Triquet, É., & Guillaud, J.-C. (à par.). Démarches d'investigation : Des représentations d'enseignants débutants aux pratiques. In M. Grangeat (Ed.), *Le travail collectif dans les enseignements scientifiques fondés sur les démarches d'investigation : formations, pratiques, effets*. Lyon : Ecole Normale Supérieure.

Giroud, N. (2011). Etude de la démarche expérimentale dans les situations de recherche pour la classe. Thèse de doctorat, Université de Grenoble.

Grangeat, M. (2011). *Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique : Pratiques de classe, travail collectif enseignant, acquisitions des élèves*. Lyon : INRP.

Morin, E. (1986). La Méthode III. La connaissance de la Connaissance. Livre premier : Anthropologie de la connaissance. Ed. du Seuil.

Triquet É., & Guillaud, J.-C. (2011). Démarche scientifique et démarche d'investigation : points de vue d'enseignants stagiaires à l'IUFM. In M. Grangeat (Ed.), *Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique : Pratiques de classe, travail collectif enseignant, acquisitions des élèves* (pp. 62-74). Lyon : INRP.

Démarches d'investigation en sciences au collège et connaissances professionnelles des enseignants : une étude de cas en physique-chimie

5

via une interaction avec les éléments du milieu.

DÉMARCHES D'INVESTIGATION EN SCIENCES ET CONNAISSANCES PROFESSIONNELLES DES ENSEIGNANTS : ETUDES DE CAS AU COLLEGE ET EN CYCLE 3

Alain Jameau
CREAD, IUFM de Bretagne-UBO

Résumé : cette contribution porte sur le thème des connaissances mobilisées par deux enseignants de collège en physique-chimie pendant la préparation et la mise en œuvre des démarches d'investigation (DI) en classe. Tout d'abord, nous exposons les cadres théoriques auxquels nous avons recours, qui relèvent de la didactique des sciences et de la didactique professionnelle, et la méthodologie que nous avons développée. Nous exposons ensuite les résultats intermédiaires de cette recherche en cours. Nous identifions les connaissances professionnelles à partir d'une analyse en didactique des sciences et en didactique professionnelle. Nous étudions, en particulier, l'articulation entre le modèle des PCK et le concept de schème. Nous formalisons chaque schème sous forme de tableau dans lequel des connaissances sont identifiées. Lorsque les enseignants traitent d'un sujet au moyen des DI, ils mobilisent d'autres types de connaissances que les connaissances disciplinaires issues de l'université. Nous montrons qu'il y a une relation entre ces connaissances et la régulation rétroactive de l'activité qui permet à l'enseignant d'ajuster sa préparation.

Contexte de l'étude : la démarche d'investigation, une exigence nouvelle pour les professeurs

Dans le contexte curriculaire français, la démarche d'investigation (DI) est apparue pour la première fois dans les programmes du collège en 2005⁶ dans la continuité de l'école primaire⁷. Elle est présentée comme une « démarche qui privilégie la construction du savoir par l'élève (...) qui s'appuie sur le questionnement des élèves sur le monde réel (en sciences expérimentales et en technologie) et sur la résolution de problèmes (en mathématiques) ». Elle est associée à un « canevas » pour une séquence d'enseignement dans lequel « sept moments essentiels » sont identifiés.

Dans les travaux de recherche, la DI est identifiée comme une démarche hypothético-déductive se déroulant à partir d'un conflit cognitif (Mathé et al., 2008). Dans ce modèle hypothético-déductif, la mise à l'épreuve d'hypothèses avec une dimension expérimentale apparaît centrale (Mathé et al., 2008 ; Triquet, Guillaud, 2011). De fait, la preuve est généralement fondée sur une prise de mesures suivant une démarche empirique inductiviste dans la pure tradition de l'enseignement français des sciences physiques (Balpe, 2001).

Il s'agit de laisser plus d'autonomie aux élèves en proposant des tâches plus ouvertes et des activités de plus haut niveau cognitif (Boilevin et al., 2011). Le problème scientifique issu de la situation-problème est mis en scène de manière stratégique avec « une accroche

⁶ BO N°5, 25 Aout 2005 Hors-série

⁷ BOEN N°1, 14 février 2002 Hors-série

ludique » (Calmettes, 2009) permettant à l'enseignant d'identifier les obstacles cognitifs et des erreurs.

Nous nous intéressons dans notre travail aux connaissances professionnelles des professeurs de sciences, dans leur travail hors classe et en classe (Jameau, 2010). Or les démarches d'investigation (en considérant qu'il n'y a pas une démarche unique) offrent un terrain propice à l'étude des connaissances mobilisées dans l'enseignement des sciences si nous faisons l'hypothèse que leur mise en œuvre, induite par les programmes, amène les connaissances à évoluer sensiblement dans le cas d'enseignants expérimentés. Avant de détailler notre questionnement, nous présentons le cadre conceptuel auquel nous nous référons.

Éléments du cadre théorique

Pour l'étude des différentes connaissances mobilisées par l'enseignant pendant la préparation de la classe, nous nous référons au concept de Pedagogical Content Knowledge (PCK), issu des travaux de Shulman (1986, 1987), de Grossman (1990) et au modèle élargi de Magnusson et al. (1999). Le concept de PCK est défini comme une connaissance spécifique pour enseigner (Shulman, 1986b). Chaque PCK est liée à un contenu. Grossman (1990) définit quatre grands domaines de connaissances : les connaissances pédagogiques générales, les connaissances disciplinaires, les PCK, et les connaissances sur le contexte. De ces quatre domaines, les PCK sont, selon Grossman, celles qui ont la plus grande influence sur l'action de l'enseignant.

Les travaux de Magnusson, Krajcik, & Borko (1999) se situent dans la lignée de ceux de Grossman. Ils définissent les PCK selon la composition suivante : les connaissances sur les stratégies d'enseignement, les connaissances du programme, les connaissances de l'évaluation, les connaissances sur les difficultés des élèves ; quatre composantes chapeautées par une cinquième, les orientations pour l'enseignement des sciences. Ces cinq catégories sont elles-mêmes constituées de sous-catégories.

Par ailleurs, notre recherche se situe dans le champ de la didactique des sciences, et s'intéresse en particulier aux dimensions expérimentales de l'enseignement des sciences. Nous nous appuyons sur le schéma de la modélisation et de la conceptualisation de Martinand (1986) et sur les travaux de Coquidé (1998) qui montre que les pratiques expérimentales contribuent notamment à l'apprentissage de compétences à travers trois modes didactiques d'activités. Le schéma de la modélisation fait apparaître des points essentiels dans ce rapport au monde et au savoir : le registre de modèles et le registre du référent empirique. Le premier est celui des *élaborations intellectuelles* (concepts, modèles, théories) ; le second est celui de la *familiarisation pratique avec des objets, phénomènes et procédés*. Ce schéma conduit aussi à bien distinguer enseignement de modèles et enseignement de la modélisation.

Nous cherchons également à analyser des connaissances professionnelles, et leurs évolutions. Pour cela, nous nous appuyons sur les travaux de Pastré (1997) et Leplat (2006) à propos des boucles de régulation, ainsi que sur les travaux de Vergnaud (1996) concernant les schèmes en tant qu'« organisation invariante de la conduite pour une classe de situations données ». Un schème est composé de cinq éléments : un but, des règles d'action, des anticipations, des invariants opératoires et des inférences. Il permet de bien

marquer la différence entre activité et organisation de l'activité. Nous distinguons l'activité de la tâche (Leplat, 2004) et nous faisons référence, pour rendre compte de la dynamique de la construction de nouvelles connaissances, aux travaux de Samurçay et Rabardel (2004) qui proposent une distinction théorique entre « activité productive » et « activité constructive ».

Dans cette communication nous tentons ainsi de répondre à différents types de questions relatives aux DI, en nous appuyant sur les cadres théoriques présentés ci-dessus. Il s'agit, d'une part, de caractériser les connaissances mobilisées par les enseignants de physique-chimie pendant la préparation et au cours de la mise en œuvre des DI en classe. Quelles sont ces connaissances ? Peut-on les diviser en catégories ? Comment sont-elles structurées ? Il s'agit, d'autre part, de s'intéresser à l'évolution de ces connaissances. Peut-on identifier leurs origines ? Peut-on en observer des évolutions, et lesquelles ? Comment participent-elles à l'activité en classe et à son organisation ?

Méthodologie

Nous avons développé une méthodologie permettant de suivre des enseignants hors classe et en classe. Nous la présentons ici, ainsi que les outils de recueil de données sur lesquels elle s'appuie. L'un des principes que nous avons retenu est de suivre deux enseignants simultanément. Le corpus que nous recueillons comporte des enregistrements audio et vidéo de séquences de classe et des entretiens avec chacun des enseignants, ainsi que des données issues d'un questionnaire de présentation personnelle et d'un journal de bord (Power, 2008 ; Gueudet & Trouche, 2009) renseigné par les deux enseignants sur toute la durée de l'étude. Le questionnaire est distribué lors de la présentation du dispositif d'étude en début de séquence. La première séance de classe est filmée : elle correspond au début de la séquence étudiée. Deux entretiens sont menés : l'un avant la séance filmée, l'autre, à chaud, après la séance. Le thème étudié lors de la séquence a été décidé au préalable conjointement par les enseignants et le chercheur. Il sert de base à deux entretiens dans lesquels les enseignants font une auto-analyse de leur action, à partir des enregistrements vidéos des séances, selon des modalités proches de l'autoconfrontation simple et croisée (Clot & Faïta, 2000 ; Clot, Faïta, Fernandez & Scheller, 2001). La fin de la séquence est ponctuée par un entretien bilan.

Nous avons mis en œuvre cette méthodologie pendant deux années, pour le suivi de deux enseignants expérimentés de collège, spécialistes d'un enseignement disciplinaire : la physique-chimie. Nous les avons appelés Henri et Florence. L'étude de cas que nous présentons ici se réfère à un enseignement en mécanique, dans les nouveaux programmes⁸ de la classe de 3^{ème}. Le thème choisi concerne les notions de « poids et masse » ; il est traité par chacun des enseignants en trois séances. Celles-ci sont filmées et servent de base à un entretien avec le chercheur (auto-analyse simple) afin d'identifier les extraits vidéo à montrer au collègue lors de l'auto-analyse croisée. Les extraits choisis doivent illustrer les incidents critiques (Flanagan, 1954) survenus pendant les deux séances.

Pour analyser ces données, dans un premier temps, nous croisons les informations issues du journal de bord, de l'observation en classe et des entretiens. Chaque enseignant, avant la

⁸ A compter de la rentrée 2008

séance observée, fournit son journal de bord. Dans un second temps, à partir des séances de classe filmées, nous élaborons un synopsis qui fait apparaître un découpage du déroulement de la séance, en lien avec nos questions de recherche. Les synopsis sont donnés aux enseignants pour préparer les entretiens en auto-analyse afin de repérer plus facilement les moments d'enseignement qu'ils souhaitent discuter. Dans un troisième temps, nous exploitons les transcripts des entretiens d'auto-analyse.

Résultats

Nous présentons, ici, une analyse du début de la première séance « poids et masse » menée par Henri. Les élèves doivent mesurer le poids d'un objet avec un dynamomètre puis apprendre le principe de fonctionnement de cet instrument. Nous analysons ce moment d'apprentissage sous l'angle de la didactique des sciences puis sous celui de la didactique professionnelle. Notre analyse porte sur deux années consécutives.

Analyse en didactique des sciences

Relation entre des connaissances professionnelles et la mise en œuvre d'une DI

Au début de la séance, Henri projette une planche de bande dessinée des aventures de Tintin tirée de l'album « on a marché sur la Lune⁹ ». Sur cette planche, nous voyons un des héros *Dupont*, sur la Lune, sauter une crevasse et retomber beaucoup plus loin que prévu. Puis, les deux héros commentent leur saut respectif : ils comparent implicitement la longueur d'un saut sur la Lune avec la longueur d'un saut sur Terre. L'interaction qui suit entre l'enseignant et les élèves permet à Henri de définir le poids d'un objet et de lancer la question de sa mesure.

Cette activité de mesure est *dévolue* aux élèves. L'enseignant ne donne pas de consigne précise ni de protocole à suivre. Il n'intervient que « sur demande » ou s'il constate des difficultés manipulatoires.

Henri dit mettre en œuvre une DI dans ce début de séance. En effet, il débute par une situation problème qui constitue l'un des « sept moments essentiels » de la DI dans les programmes. Puis il élabore une activité où les élèves sont en autonomie pour s'approprier le dynamomètre et la mesure du poids d'un objet. L'enseignant dit que cette phase est importante sans qu'il puisse dire clairement en quoi cette situation favorise les apprentissages, ni quels types d'apprentissages.

Quelles sont les connaissances mobilisées par Henri ?

Pour lui, ce choix de B.D. est stratégique : « c'est une situation qui parle ! ». Elle est suffisamment explicite pour que les élèves identifient le problème et émettent des hypothèses explicatives en réinvestissant leurs connaissances sur la gravitation, vues dans les cours précédents. L'activité expérimentale, telle qu'elle est construite et mise en œuvre par Henri, est aussi stratégique. La construction des connaissances concernant la mesure du poids est à la charge des élèves. Par conséquent, l'enseignant mobilise notamment des PCK sur les stratégies d'enseignement, sur les élèves (difficultés et prérequis), sur le matériel

⁹ On a marché sur la Lune, Hergé, Edition Casterman

pédagogique (d'un point de vue technologique et sur son fonctionnement) et sur les programmes.

La situation-problème et l'activité expérimentale sont spécifiques à la DI. Elles correspondent, dans le modèle élargi de Magnusson et al. (1999), aux « orientations pour l'enseignement des sciences ». Ce sont les objectifs, les approches générales pour cet enseignement. Dans notre étude de cas, il apparaît que ces approches générales ne dépendent pas seulement d'un contenu spécifique (Jameau, 2010).

Une investigation pour modéliser le poids d'un objet

Les travaux sur le processus de modélisation de Martinand (1986) nous renseignent sur les apprentissages en jeu dans cette activité de mesure. La tâche demandée aux élèves permet la constitution d'un référent empirique concernant le dynamomètre suivant le mode de familiarisation pratique qui est un mode didactique de pratiques expérimentales (Martinand, 1986 ; Coquidé, 1998). Les élèves développent des connaissances phénoménotechniques, c'est-à-dire des savoir-faire instrumentaux qui permettent d'effectuer correctement une mesure et, des connaissances phénoménographiques, c'est-à-dire des connaissances empiriques liées à l'utilisation pratique du dynamomètre. Ces deux types de connaissances constituent en partie le référent empirique (Martinand, 1986) au dynamomètre.

Les élèves observent, décrivent et manipulent à vide le dynamomètre avant d'effectuer une mesure. Ils testent les propriétés d'élasticité du ressort, c'est à dire la relation entre l'allongement, le repère et la graduation. Ils font preuve d'une attitude scientifique dans le sens où ils évaluent son principe de fonctionnement avant d'y suspendre un objet et d'effectuer une mesure. Ils travaillent en autonomie, de manière responsable. La plupart d'entre eux réinvestissent des connaissances sur la prise de mesure : ils placent le repère au niveau de l'œil pour éviter les erreurs de parallaxe dans la lecture de la valeur du poids de l'objet. Nous observons des élèves tester les limites de l'appareil dans le cas d'une masse trop importante ou trop faible. Alors, ils choisissent l'objet afin que le repère soit situé à peu près au centre de la graduation.

Henri s'appuie sur le référent empirique au dynamomètre pour mettre en évidence son principe de fonctionnement. L'échange se fait en grand groupe.

P : (...) par un ressort qu'est-ce qui fait ce ressort ? [brouhaha] Charlotte il monte il descend oui ? au moment où on suspend quelque chose
E : il descend
P : (...) et il est toujours étiré de la même manière ou pas ?
E : non
P : non ça dépend de quoi ça son étirement ?
C : du poids
P : du poids de l'objet donc euh plus l'objet /
E : est lourd
P : plus il a un poids important plus il est étiré voilà vous avez le principe de cet appareil qu'on appelle un dynamomètre [p écrit au tableau]

Extrait n°1 du transcript concernant le principe de fonctionnement du dynamomètre

Ce début d'échange entre l'enseignant et un élève porte sur des éléments qui appartiennent au registre du référent empirique à travers une connaissance phénoménographique de l'élève sur le dynamomètre (*le ressort descend au moment où on suspend quelque chose, il n'est pas étiré toujours de la même manière*). Puis, nous observons Henri opérer une projection du registre empirique sur celui des modèles (*l'étirement dépend du poids de l'objet*). Cette mise en relation entre les deux registres lui permet d'expliquer le principe de l'appareil de mesure et de justifier son utilisation. Pour autant, il n'y a pas de référence à la cause de la déformation du ressort, à savoir l'action de la Terre sur l'objet suspendu. Nous observons que l'enseignant justifie son étirement par l'action du poids alors qu'un élève interrogé fait référence à « lourd » c'est-à-dire à la masse.

Selon nous, le concept de poids n'est toujours pas construit car la tâche des élèves se situe au niveau du registre du référent empirique. La relation avec le registre du modèle n'est pas faite. Henri est seul à faire « fonctionner » le modèle. Finalement, les élèves ont été placés dans l'effectuation d'une mesure. L'activité se retrouve décrochée par rapport à la problématique identifiée dans la situation-problème. De fait, la mesure est une fin en soi : les élèves mesurent pour mesurer. Pour qu'il y ait des élaborations théoriques, Il est nécessaire d'effectuer un lien dynamique entre le registre empirique et le registre des modèles (Martinand, 1986).

Evolution de la préparation de l'enseignant : conséquences sur la modélisation du poids d'un objet

La deuxième année, nous observons un changement important par rapport à la première année. Henri construit la définition du poids d'un objet conjointement avec les élèves au bout de deux minutes de cours. Il la note au tableau : « on appelle poids d'un corps l'attraction d'une planète sur le corps ». Cette construction a été possible car les élèves ont fait « fonctionner » le modèle de la gravitation pour expliquer pourquoi Dupont est surpris par la longueur de son saut sur la Lune.

E1 : Il est allé aussi loin (...) c'est à cause de la gravitation de la Lune

P : Et alors qu'est-ce que tu veux dire par là c'est à cause de la gravitation de la Lune ?

E1 : La Lune euh elle attire moins les objets que la Terre

Extrait n°2 du transcript concernant l'étude de la B.D.

Dans cet extrait nous observons comment l'élève E1 mobilise le concept de gravitation pour expliquer le saut des Dupont. Il précise deux choses : d'une part, que chacune des planètes attire un objet et, d'autre part, que l'attraction de la Lune sur l'objet serait moindre que celle de la Terre. On remarque que sa réponse est formulée dans un cas général grâce à la relance de l'enseignant. On peut inférer qu'Henri mobilise une SMK sur l'interaction gravitationnelle qui s'amalgame avec une PCK sur les programmes concernant l'enseignement de ce concept pour construire sa réponse. Cet amalgame de connaissances à deux impacts : d'une part, il engendre une réponse plus précise de l'élève dans laquelle il réinvestit les savoirs construits en classe et, d'autre part, l'enseignant peut donner une définition du poids compréhensible par toute la classe.

Henri présente directement le dynamomètre comme l'appareil qui permet « *de mesurer l'attraction d'une planète sur un corps* ». L'enseignant fait la relation entre l'appareil de mesure, sa fonction et le modèle du poids. Cette modification dans l'introduction de l'activité expérimentale est, selon nous, la conséquence d'une définition du poids compréhensible par tous. Mais, cette présentation du dynamomètre a une influence forte sur l'activité de mesure car les élèves connaissent la fonction du dynamomètre avant d'apprendre à s'en servir. Donc, ils seront dans l'application de la définition. Voici deux extraits significatifs :

P : est-ce que le ressort s'étire toujours de la même manière Manu ?

E2 : bin non ça dépend du poids de l'objet

L'élève E2 opère une projection du registre empirique sur celui des modèles, avec l'aide de l'enseignant, pour expliquer le phénomène empirique.

P : (..) c'est très bien donc plus le poids de l'objet sera important /

E3 : plus le euh le ressort

P : le ressort

E3 : va s'étirer

Dans ce cas, l'élève E3 opère une projection du modèle sur le référent empirique. Il décrit ce qui se passerait si on augmentait le poids. Par conséquent, il développe une connaissance phénoménologique qui élargit le référent empirique au dynamomètre. C'est une description seconde, après modèle (Martinand, 1986).

Dans les deux exemples ci-dessus, nous observons une double projection qui montre la dynamique de la modélisation du poids d'un corps. Henri accompagne cette double projection en posant des questions précises dans lesquelles il mobilise une PCK sur le matériel pédagogique et une SMK sur l'interaction gravitationnelle. Pour Sanchez (2008), le modèle joue le rôle de cadre conceptuel « dont la confrontation au réel permet de donner du sens aux données recueillies ». Les élèves peuvent mieux conceptualiser (Larcher, 1994) l'interaction à distance entre une planète et un objet et de se constituer des ressources théoriques.

Analyse en didactique professionnelle

Identifier des connaissances professionnelles dans une organisation de l'activité

Sur le plan méthodologique, nous identifions l'organisation de l'activité à partir d'une analyse vidéo et des entretiens en auto-analyse simple et croisée. Cette vidéo, dans laquelle nous observons l'enseignant dans l'action, nous permet de renseigner les cinq éléments du schème. Dans notre description de son activité, nous rendons explicite(s) le ou les indices que l'enseignant prélève dans l'action. Ces indices apparaissent dans le cadre théorique attaché aux schèmes, en tant que règles de prise d'information. Cette prise d'information s'appuie sur les invariants opératoires en relation avec le but. Or, ces indices apparaissent dans les entretiens : le professeur montre la relation qu'il existe avec la conduite de son action. Donc, nous pensons qu'il est important d'ajouter cet élément à la description de l'activité de l'enseignant.

Ensuite, nous nous appuyons sur les entretiens pour inférer les connaissances de références mobilisées par l'enseignant et affiner leur organisation au sein de l'activité.

Chaque schème peut être formalisé sous forme d'un tableau (cf. tableau1). La colonne de gauche montre les éléments constitutifs du schème ; la colonne de droite donne à voir ce que l'enseignant fait ou pense en situation. Plus précisément, nous renseignons la colonne de droite à partir de deux sources : soit ce sont des propos de l'enseignant dans les entretiens correspondants à une analyse à posteriori de son activité, soit ce sont des interprétations que nous faisons à la lecture de la vidéo et/ou des entretiens. Dans tous les cas, nous reformulons ce qui est dit pour une meilleure compréhension. De plus, nous nommons le schème afin de donner une description synthétique de l'activité analysée.

Prenons l'exemple lorsqu' Henri introduit l'activité expérimentale par la question suivante : « est-ce que l'on peut mesurer le poids ? ». Nous modélisons cette situation dans un tableau.

Schème B : introduction d'une activité expérimentale	
But	Mettre en évidence que le poids se mesure
Anticipation	J'attends que les élèves répondent par l'affirmative
Inférence	Si les élèves ne répondent pas alors je pose la question en nommant un élève Si je sens des doutes alors je demande si quelqu'un pense que non Si un élève répond par l'affirmative je lui demande pourquoi Si les élèves font références au document « Newton et la gravitation » alors je poursuis le déroulement du cours
Indice	Les élèves répondent à la question
Règle d'action	Demander aux élèves si le poids se mesure
Invariants opératoires	Je sais que le poids se mesure avec un dynamomètre L'unité de mesure du poids est le newton de symbole N La réponse à la question est présente dans le document « Newton et la gravitation » déjà étudié Poser la question de la mesure du poids permet d'introduire le dynamomètre

Tableau 1 : schème mobilisé par Henri lors de l'introduction de l'activité expérimentale la première année

Le contenu concernant le but, les anticipations, l'indice, les invariants opératoires et la règle d'action sont dits dans les entretiens par Henri. Par contre, nous déduisons les inférences de la vidéo et des entretiens. Tous ces propos sont reformulés. Prenons un exemple. Henri a posé la question suivante : « est-ce que l'on peut mesurer le poids ? ». Cette question engendre toute l'activité et correspond d'un point de vue théorique à la composante « règle d'action » du schème (Verghnaud & Récopé, 2000). Nous la reformulons comme ceci : demander aux élèves si le poids se mesure.

Nous observons des connaissances de référence dans l'invariant opératoire à partir de l'étude des théorèmes-en-acte (ce que le professeur tient pour vrai) et des concepts-en-acte (ce que le professeur tient pour pertinent). Henri tient pour vrai que le poids se mesure avec un dynamomètre, son unité est le newton. Il a étudié un texte avec les élèves intitulé : « Newton et la gravitation ». Dans ce texte, l'enseignant a ajouté un paragraphe concernant la mesure « de l'attraction exercée par la Terre sur un corps ». Par conséquent, il juge pertinent de débiter la séance par une question sur la mesure pour introduire le dynamomètre.

Quelles sont les types de connaissances identifiées dans cette organisation ?

Dans cet exemple, nous identifions des connaissances de type SMK (*le poids se mesure avec un dynamomètre, l'unité de mesure du poids est le newton de symbole N*) qui se situent au niveau de l'enseignant. Toutes les autres connaissances sont spécifiques à l'enseignement sur « poids et masse ». Pour nous, ce sont des PCK sur le matériel pédagogique (*le dynamomètre*) et sur les stratégies (*la question de la mesure permet d'introduire le dynamomètre*). Mais, il y a aussi une connaissance sur le savoir construit par les élèves dans une activité passée (*La réponse à la question est présente dans le document « Newton et la gravitation » déjà étudié*). Dans notre cas, ce savoir a été construit au cours précédent. Mais nous pouvons rencontrer le cas où l'enseignant fait référence à un savoir construit, conjointement avec eux, dans des classes antérieures, parce qu'il est le seul enseignant de physique-chimie dans l'établissement. Pour nous, ce sont des PCK sur l'élève.

Relation entre des connaissances professionnelles et la régulation rétroactive de l'activité en classe

Généralement, un enseignant s'appuie sur sa préparation pour mettre en place des activités et proposer des tâches aux élèves afin de favoriser des apprentissages. Pour Coulet (2009), « il est difficile de rendre compte de l'activité sans insister sur les mécanismes de régulation qui l'accompagnent ». Nous étudions, ici, l'adaptation ou l'évolution de la préparation à partir des trois boucles de régulation rétroactives de l'activité (Leplat 2006) : une boucle courte, une boucle longue et une boucle « changement de schème » (Pastré, 1997 ; Coulet, 2010). Nous ne développerons que la boucle « changement de schème » et la boucle longue.

Une boucle de régulation « changement de schème »

Lors de la deuxième année, nous avons vu que le déroulement de l'activité expérimentale est identique à celui de la première année. Les élèves manipulent et Henri n'intervient que sur demande ou s'il observe une difficulté manipulatoire. Par conséquent, le schème A « mesure du poids d'un objet » ne change pas. Par contre, le schème B « introduction d'une activité expérimentale » est modifié. En effet, Henri débute en présentant le dynamomètre et sa fonction alors que, la première année, il avait posé la question de la mesure du poids. Donc, son but a changé. Henri a opéré une boucle de régulation « changement de schème ».

Comparons les invariants opératoires du schème B « introduction d'une activité expérimentale », les deux années. Nous notons un changement de concept en acte. La première année, nous l'avons noté : « *poser la question de la mesure du poids permet d'introduire le dynamomètre* ». La deuxième année, c'est : « *je donne le nom de l'appareil de mesure et sa fonction en relation avec la définition* ». Ce changement engendre une action, un contrôle et une prise d'informations différentes entre les deux années. L'organisation de l'activité a évolué.

Du point de vue des connaissances mobilisées par Henri, nous observons une évolution dans la mobilisation d'une PCK stratégie. C'est la conséquence de la boucle de régulation opérée par l'enseignant entre les deux années. Selon nous, cette évolution est caractéristique de ce type de régulation.

Une boucle longue de régulation

Au cours des deux années d'observation, nous avons relevé qu'Henri faisait référence au même paragraphe du texte « Newton et la gravitation » mais pas au même moment de la séance. La première année, c'était pour répondre à la question de la mesure du poids et, l'année suivante, c'était pour répondre à la question de l'unité du poids.

La première année, la lecture du paragraphe n'était pas prévue. Par contre, la deuxième année, l'enseignant prévoit de faire référence au texte s'il le juge nécessaire. Autrement dit, cette lecture n'est pas systématique. Donc, pour nous, la lecture du paragraphe est une réponse à un *incident prévu* (Jameau, 2012). L'enseignant dispose de ce schème mais il ne le convoquera que dans le cas où les indices pris dans l'action lui montreront qu'il est adapté à la situation. Ce changement apparaît caractéristique d'une régulation rétroactive en boucle longue.

Nous observons la *capitalisation* d'une inférence (*si les réponses ne sont pas satisfaisantes alors je leur demande de lire le dernier paragraphe du document « Newton et la gravitation »*) et d'un invariant opératoire (*la réponse à la question est dans le document « Newton et la gravitation » étudié à la séance précédente*) au niveau du schème « principe de fonctionnement du dynamomètre ». C'est caractéristique d'une boucle longue de régulation

Conclusion

Notre présentation nous a amené à étudier les connaissances mobilisées par des enseignants de physique-chimie pendant la préparation et au cours de la mise en œuvre de la DI en classe. En nous appuyant sur des références théoriques et sur une méthodologie construite pour cette recherche, nous avons montré que les enseignants mobilisent d'autres types de connaissances que les connaissances disciplinaires issues de l'université : des connaissances sur les élèves (leurs difficultés et leurs acquis), des connaissances sur le matériel pédagogique (du point de vue technologique et de son fonctionnement), des connaissances sur les stratégies d'enseignement. Ces connaissances dépendent du contenu à enseigner, elles sont des composantes des PCK. Elles s'amalgament (Shulman, 1986, 1987) notamment avec des connaissances disciplinaires. Toutes ces catégories de connaissances sont incluses dans les connaissances professionnelles de l'enseignant. Elles

lui permettent de rendre le sujet d'étude plus compréhensible pour les élèves (Geddis et al., 1993 ; Grossman, 1990 ; Shulman, 1986, 1987).

La mise en œuvre d'une DI génère parfois des difficultés du côté des enseignants. D'une part, nous avons observé un manque de liaison entre la situation-problème, généralement mise en œuvre à la première séance, et les investigations menées plus tard dans la séquence. Les questions productives, qui donnent lieu à des investigations, sont souvent imposées par les enseignants. De fait, elles n'ont pas forcément de sens pour tous les élèves ce qui provoque des difficultés de compréhension de la tâche à effectuer. En fait, la situation-problème est souvent réduite à « corriger » les erreurs des élèves et à une forme d'évaluation formative. Une démarche empirique inductiviste, avec des phases en autonomie partielle ou totale, n'assure pas les élèves de conceptualiser une notion.

Ces difficultés de mise en œuvre d'un DI conduisent les enseignants à adapter leur préparation. Dans le cas d'une régulation en boucle longue, la *capitalisation* des connaissances dans l'invariant opératoire et dans l'inférence du schème convoqué par l'enseignant, issue de pratiques de classes passées, lui permet de produire une réponse structurée et précise pour les élèves. Par ailleurs, le professeur peut aussi réorganiser son activité, lorsqu'il le juge utile, en mobilisant un nouveau schème. C'est une régulation rétroactive par boucle de « changement de schème ». Du point de vue des connaissances mobilisées par Henri, nous observons une évolution dans la mobilisation d'une PCK stratégie. Pour nous, cette évolution est caractéristique de ce type de régulation et montre une forme d'adaptation de la préparation de l'enseignant à la classe.

Bibliographie

Boilevin, J-M., Brandt-Pomares, P. (2011). Démarches d'investigation en sciences et en technologie au collège : les conditions d'évolution des pratiques. In M. Grangeat (Ed.) *Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique. Pratiques de classe, travail collectif enseignant, acquisitions des élèves*. Lyon : Ecole Normale Supérieure de Lyon, Institut National de Recherche Pédagogique.

Calmettes, B. (2009). Démarche d'investigation en Physique. Des textes officiels aux pratiques de classe. *Spirales*, 43, p. 139-148.

Clot, Y., Faïta, D., Fernandez, G., Scheller, L., (2001). Entretiens en autoconfrontation croisée : une méthode en clinique de l'activité. *Éducation permanente*, 146 (1), 17-25.

Coquidé, M. (1998). Les pratiques expérimentales : propos d'enseignants et conceptions officielles. *Aster*, 26 : 109-132.

Grossman, P. L. (1990). *The making of a teacher : Teacher knowledge and teacher education*. New York. Teachers College Press.

Gueudet, G., Trouche, L. (2009). Conception et usages de ressources pour et par les professeurs : développement associatif et développement professionnel, *Dossiers de l'Ingénierie Educative*, 65, p. 78-82.

Jameau, A. (2010). Les connaissances des enseignants en sciences. Une étude de cas dans l'enseignement de la mécanique au collège. *Actes du Congrès AREF*, 10-13 septembre 2010, Genève.

Jameau, A. (2012). Les connaissances des enseignants dans l'enseignement de la physique-chimie: une étude de cas en mécanique au collège. *Actes des septièmes*

rencontres scientifiques de l'ARDIST, 14-16 mars 2012, Bordeaux.

Leplat, J. (1997). *Regards sur l'activité en situation de travail*. Paris: PUF

Magnusson, S., Krajcik, J., & Borko, H. (1999). Nature, sources, and development of pedagogical content knowledge for science teaching. In N. G. L. Julie Gess-Newsome (Ed.), *Examining Pedagogical Content Knowledge* (pp. 95 - 132). Boston : Kluwer.

Martinand, J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne : Peter Lang.

Mathé, S., Méheut, M., De Hosson, C., (2008). Démarche d'investigation au collège : quels enjeux ? *Didaskalia*, 32, p. 41-76

Pastré, P. (1997). Didactique professionnelle et développement. *Psychologie Française*, 42, 1, 89-100.

Pastré, P., Mayen P. & Vergnaud G. (2006). La didactique professionnelle. *Revue française de pédagogie*, 154, p. 146-198

Samurçay R., Rabardel P. (2004), Modèles pour l'analyse de l'activité et des compétences, in Samurçay, Pastré (dir), *Recherches en didactique professionnelle*, Toulouse, Octares, 163-180.

Sensevy, G. & Mercier, A. (2007). *Agir ensemble. L'action conjointe du professeur et des élèves dans le système didactique*. Rennes: PUR.

Shulman, L.S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational researcher*, 15(2), 4-14.

Shulman, L.S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Educational Review*, 57(1), 1-22.

Triquet, E., Guillaud, J-C., (2011). Démarches scientifiques et démarches d'investigation : point de vue d'enseignants stagiaires de l'IUFM. In M. Grangeat (Ed.) *Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique. Pratiques de classe, travail collectif enseignant, acquisitions des élèves*. Lyon : Ecole Normale Supérieure de Lyon, Institut National de Recherche Pédagogique.

Vergnaud, G. & Récopé, M. (2000). De Revault d'Allonnes à une théorie du schème aujourd'hui. *Psychologie Française*, 45, 1, 35-50.

Connaissances professionnelles et démarches d'investigation : une étude de cas dans l'enseignement de la chimie

Rim HAMMOUD

Institut Français de l'Éducation (IFÉ)

S2HEP

Université Lyon 1 et Ecole Normale Supérieure de Lyon

Résumé : Les démarches d'investigation ont été récemment intégrées au niveau du lycée, en particulier dans le nouveau programme de physique-chimie de la classe de seconde, induisant des modifications profondes des pratiques et des ressources des enseignants. Notre recherche s'intéresse à la mise en place de ces démarches pour l'enseignement de la chimie en lycée. Dans cet article, nous nous attachons à étudier les connaissances professionnelles mobilisées par les enseignants lors de la mise en place des DI. Tout d'abord, nous présentons le cadre théorique choisi et la méthodologie développée pour cette recherche. Nous exposons ensuite des résultats intermédiaires qui concernent le suivi d'un enseignant. Nous proposons d'inférer ses connaissances professionnelles à partir de ses ressources et de la mise en œuvre des ressources en classe. Deux types de connaissances sont plus particulièrement concernés par cette étude : les PCK et les orientations pour les DI.

Contexte de l'étude

Les démarches d'investigation (DI) sont bien présentes aujourd'hui dans les prescriptions institutionnelles en France. Il s'agit de développer l'autonomie des élèves en proposant des tâches plus ouvertes et des activités de plus haut niveau cognitif (Boilevin & Brandt-Pomares, 2011). C'est dans cet esprit que la réforme du lycée, et en particulier le nouveau programme de sciences physiques et chimiques (SPC) pour la classe de seconde, applicable à la rentrée 2010, préconise les DI dans la continuité du collège (BO, 2010).

Bien que les DI recouvrent des significations et des formes diverses, la responsabilité des élèves vis-à-vis du savoir en jeu reste au cœur de ces démarches. D'un point de vue didactique, le *constructivisme* et le *socioconstructivisme* sont souvent considérés comme des références épistémologiques des DI (Calmettes, 2008). D'un point de vue institutionnel, les DI sont associées à un modèle *hypothético-déductif* où la mise à l'épreuve d'hypothèses à travers une *dimension expérimentale* apparaît centrale (Triquet & Guillaud, 2011). Par ailleurs, l'implémentation des DI entraîne une rupture avec des pratiques d'enseignement bien installées, d'où sa difficulté : le rôle de l'enseignant ainsi que la relation didactique s'en trouvent profondément modifiés. Le professeur n'est plus celui qui expose le savoir, mais celui qui propose des situations susceptibles de favoriser la construction des connaissances par les élèves. Ceci suppose de la part de l'enseignant un renouvellement de ses ressources et une évolution de ses connaissances professionnelles.

Dans la communication présente, nous proposons d'aborder la mise en œuvre des DI sous l'angle des connaissances professionnelles, dans le cas de l'enseignement de la chimie. Nous considérons le travail du professeur en classe comme hors classe, en

particulier ses interactions avec des ressources mobilisées dans la conception de DI. Avant de préciser notre questionnement, nous présentons quelques éléments du cadre théorique sur lequel nous nous appuyons.

Eléments du cadre théorique et questions de recherche

Dans notre recherche, nous nous situons dans le cadre de *l'approche documentaire du didactique* (Gueudet & Trouche, 2010) qui considère le travail du professeur à travers ses interactions avec un ensemble de *ressources*. Le mot *ressource* est entendu dans un sens large : tout ce qui concourt au projet d'enseignement du professeur, tout ce qui contribue à « *re-sourcer* » (Adler, 2010) sa pratique (ressources matérielles, mais aussi, par exemple, les interactions avec les élèves ou les discussions avec des collègues).

Pour étudier les connaissances professionnelles qui pilotent la conception et l'usage des ressources de l'enseignant, nous nous référons au concept de *Pedagogical Content Knowledge* (PCK) issu du modèle de Magnusson *et al.* (1999). Les PCK sont des connaissances spécifiques pour enseigner, elles sont liées à un contenu. Magnusson *et al.* (1999) distinguent en leur sein cinq composantes : les connaissances sur les stratégies d'enseignement, les connaissances sur les difficultés d'apprentissage des élèves, les connaissances sur l'évaluation, les connaissances sur le curriculum, et les *orientations* pour l'enseignement des sciences. Cette dernière composante représente les connaissances des enseignants des buts et des objectifs de l'enseignement des sciences à un niveau donné « *a general way of viewing or conceptualizing science teaching. The significance of this component is that these knowledge and beliefs serve as a "conceptual map" that guides instructional decisions about issues such as daily objectives, the content of student assignments, the use of textbooks and other curricular materials, and the evaluation of student learning* » (Magnusson *et al.*, 1999, p. 97). Etant donné que ces orientations correspondent à une vue globale des approches générales de l'enseignement qui vont piloter l'action de l'enseignant, nous avons fait le choix de nous distinguer de ces auteurs en ne les considérant pas comme spécifiques d'un contenu disciplinaire particulier ; elles sont, cependant, spécifiques de la discipline. En effet, nous postulons que les orientations font partie des connaissances professionnelles en interaction avec les PCK pour un sujet d'étude, mais elles ne peuvent pas être incluses dans les PCK en tant qu'une de leurs composantes. Si les orientations pour l'enseignement des sciences jouent un rôle influent, tel que le modélisent Magnusson *et al.* (1999), il est important d'examiner de près ce type de connaissance. Comme dans notre travail nous portons une attention spécifique aux DI, nous considérons, de fait, un cas particulier des orientations pour l'enseignement des sciences qui est vu sous l'angle des DI. Nous proposons alors de spécifier une des « orientations pour l'enseignement des sciences » que nous nommerons « *orientations pour les DI* ». Ce que nous appelons « orientations pour les DI » correspond donc à des orientations pour l'enseignement des sciences, spécifiques, à une vue et à une conceptualisation générale de l'enseignement fondé sur les DI. Mais comment définir ces orientations ? Comment les caractériser ?

Pour caractériser les orientations de l'enseignant pour les DI, nous nous appuyons sur le *modèle de l'enseignement scientifique fondé sur les DI (ESFI)* issu du projet européen S-

TEAM¹⁰ (Grangeat, 2010 ; Grangeat, à paraître). Ce modèle identifie six dimensions critiques ou six axes représentant des continuums : l'origine du questionnement, la nature du problème, la responsabilisation des élèves, la prise en compte de la diversité des élèves, le développement de l'argumentation, et l'explicitation des buts et des savoirs qui sont visés à travers les DI. Sur ce continuum, quatre niveaux de *règles d'action*, qui guident l'activité enseignante dans les DI, servent de repère : les premiers niveaux correspondent à des règles d'action centrées majoritairement sur l'enseignant et les contenus. À l'inverse, les niveaux terminaux correspondent à des règles d'action plus complexes, centrées sur les élèves (voir tableau 1).

Dimensions critiques	Règles d'action
Origine du questionnement	<ol style="list-style-type: none"> 1. Proposer un problème 2. Proposer un problème en lien avec l'expérience des élèves 3. Proposer une situation et amener les élèves à construire le problème 4. Construire un problème en classe avec les élèves à partir d'un thème
Nature du problème	<ol style="list-style-type: none"> 1. Proposer un protocole à suivre étape par étape 2. Proposer un protocole à concevoir dans une situation connue 3. Proposer une consigne ouverte et un matériel limité 4. Proposer une consigne ouverte et un matériel libre
Responsabilisation des élèves dans la conduite de l'investigation	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mettre en place les étapes de la démarche d'investigation 2. Amener les élèves à concevoir plusieurs procédures 3. Rendre les élèves responsables du processus 4. Mettre à disposition des élèves des outils d'autoévaluation
Prise en compte de la diversité des élèves	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gérer le comportement de certains élèves pour les rendre actifs 2. Modifier la tâche pour maintenir l'engagement de certains élèves 3. Vérifier la compréhension dans chaque groupe 4. Adapter la situation à la spécificité de certains élèves
Développement de	<ol style="list-style-type: none"> 1. Faciliter la communication entre les élèves dans les petits

¹⁰ Science Teacher Education Advanced Methods <https://www.ntnu.no/wiki/display/steam/SCIENCE-TEACHER+EDUCATION+ADVANCED+METHODS>

l'argumentation	<p>groupes</p> <p>2. Communiquer à la classe les propositions des élèves</p> <p>3. Permettre la prise en compte des arguments d'autrui</p> <p>4. Faire justifier les réponses par des savoirs ou des résultats</p>
Explicitation des buts, des savoirs acquis	<p>1. Enoncer les attentes pour la séance en cours</p> <p>2. Faire le bilan de la séance à propos des savoirs</p> <p>3. Faire dire aux élèves ce qu'ils ont appris durant la séance</p> <p>4. Expliciter les métaconnaissances pour un réinvestissement des acquis</p>

Tableau 1. *Le modèle ESFI à six dimensions*

Nous proposons de situer les orientations de l'enseignant pour les DI dans cet espace à six dimensions. De ce fait, nous considérons que les orientations pour les DI correspondent à une vue et à une conceptualisation générale de l'enseignement fondé sur les DI, par rapport à ces dimensions. Autrement dit, les orientations pour les DI sont à la fois : une vue de l'enseignant sur l'origine du questionnement en DI, sur la nature des problèmes basés sur des DI qu'on peut mettre en œuvre en classe, sur la responsabilité qu'on peut attribuer aux élèves au cours des DI, sur la prise en compte de la diversité des élèves lors des DI, sur l'argumentation scientifique au cours des DI, et sur l'explicitation des buts et des savoirs acquis en DI. Ces vues seront identifiées, d'une part, à travers les ressources de l'enseignant conçues pour la mise en place de DI, et d'autre part, à travers la mise en œuvre de ces ressources en classe.

Par conséquent, nous considérons que lorsque l'enseignant conçoit et met en œuvre des ressources basées sur des DI, il ne le fait pas en se référant uniquement à des connaissances disciplinaires et des PCK, mais aussi en fonction de ses orientations pour les DI. Dans le cadre de notre étude, nous portons une attention particulière à deux catégories des PCK, à savoir les connaissances sur les stratégies d'enseignement et les connaissances sur les difficultés des élèves. Nous nous intéressons également aux orientations de l'enseignant pour les DI. Dans la section suivante (§ 3), nous explicitons les relations entre ces différents types de connaissances.

Dans cette communication, nous interrogeons ainsi les connaissances professionnelles mobilisées par l'enseignant sous la forme suivante : Quelles sont les PCK de l'enseignant mobilisées par la mise en œuvre de DI ? Quelles sont ses orientations pour les DI ? Comment peut-on les identifier à partir de ses ressources et de la mise en œuvre de ces ressources en classe ?

Méthodologie de recueil et d'analyse des données

Nous étudions les connaissances professionnelles des enseignants de chimie de la classe de seconde, dont le nouveau programme prône la mise en place des DI. Le corpus que nous recueillons comporte des enregistrements audio et vidéo de séances de classe et

des entretiens avec les enseignants. Deux entretiens sont menés : l'un avant la séance filmée, l'autre, à chaud, après la séance. Il convient de noter que ces outils méthodologiques ne sont qu'une partie des outils que nous avons développés dans le cadre de notre recherche (Hammoud *et al.*, 2010). Nous nous attachons à vérifier nos inférences par rapport aux connaissances professionnelles auprès de l'enseignant au moyen d'un entretien d'autoconfrontation (EAC). Ainsi, nous appuyons l'analyse des données vidéo de classe par un entretien avec l'enseignant sur la vidéo. Notons qu'au cours des prises des données, nous avons exercé un rôle d'observateur qui n'intervenait pas dans les choix de préparation et du déroulement des séances.

Pour analyser les PCK et les orientations pour les DI de l'enseignant, nous croisons les données issues des observations de classe, des entretiens, mais aussi de l'analyse a priori de la ressource. En effet, l'analyse de la ressource est primordiale dans la mesure où elle permet d'approcher des orientations de l'enseignant par rapport aux dimensions du modèle ESFI (§ 2). Notre démarche d'analyse consiste tout d'abord à inférer les PCK/difficulté et les PCK/stratégie de l'enseignant à partir de son action en classe. A partir des PCK/stratégie, nous inférons une règle d'action de l'enseignant qui sera mise en œuvre à travers ces PCK dans une situation ayant un certain objectif d'apprentissage. Soulignons que les règles d'action que nous inférons correspondent à celles présentes dans le modèle ESFI (§ 2). Une PCK/stratégie est, par définition, liée à un élément de savoir. En revanche, nous considérons qu'une règle d'action est indépendante d'un contenu disciplinaire précis. Nous faisons l'hypothèse que les règles d'action sont une forme opératoire d'une connaissance d'un niveau plus général et que cette connaissance n'est autre que les orientations de l'enseignant pour les DI. Autrement dit, ces orientations pilotent les règles d'action de l'enseignant. En effet, les orientations sont des connaissances complexes qui ne peuvent être reconstruites directement à partir de l'action de l'enseignant en classe, une manière de les étudier est de les considérer comme un ensemble des règles d'action de l'enseignant repérées dans sa pratique et à travers ses ressources. Ainsi, après avoir identifié les règles d'action, nous reconstruisons les orientations de l'enseignant en référence aux six dimensions du modèle ESFI (§ 2). Nous illustrons par une représentation schématique (voir figure 1), les relations entre les PCK, les règles d'action et les orientations pour les DI.

Nous présentons ici une étude de cas d'un enseignant que nous avons suivi pendant deux ans, Lucien (14 ans d'expérience d'enseignement en classe de seconde). Cependant, dans le cadre de cet article, les résultats correspondent principalement à la première année du travail de recherche.

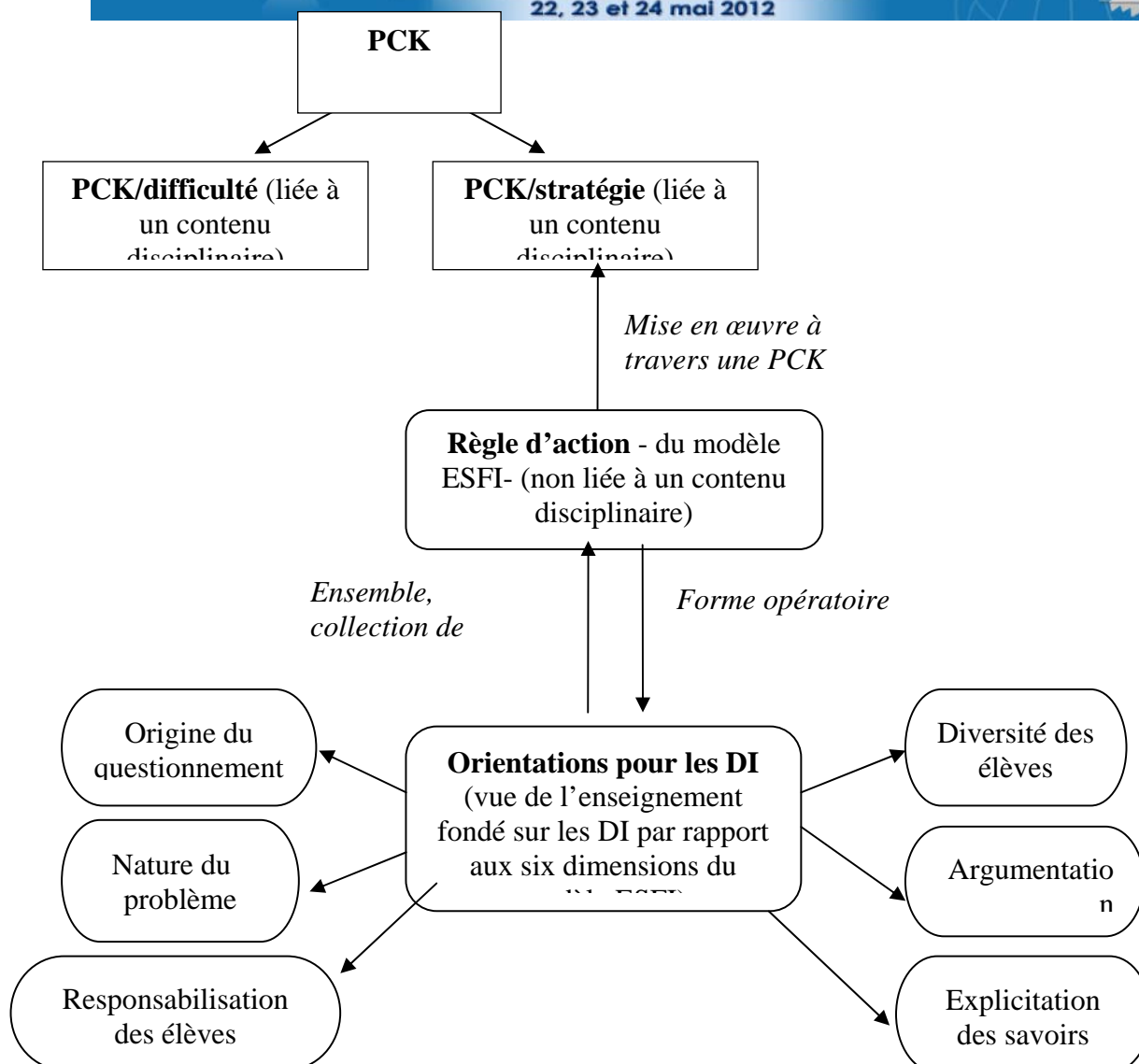


Figure 1. Représentation schématique des relations entre PCK, règle d'action et orientations pour les DI

4. Résultats et discussion

Le suivi de Lucien s'est déroulé pendant la période où il enseignait la partie du programme relative à la quantité de matière (la première année de suivi correspond à l'année scolaire 2009/2010). Nous présentons d'abord la ressource de Lucien conçue pour la mise en place de DI. Ensuite, nous suivons la mise en œuvre de cette ressource. Enfin, nous inférons des orientations de Lucien pour les DI.

La ressource : le choix de la neutralisation

Lucien a choisi d'aborder la notion de quantité de matière à travers un TP fondé sur des DI et qui porte sur la neutralisation d'une base (NaOH) par un acide (HCl). Ce choix est révélateur d'une PCK/stratégie que nous proposons de formuler de la façon suivante : « l'enseignant sait que pour aider les élèves à comprendre la notion de quantité de matière, il

est intéressant de faire une neutralisation ». Deux approches sont proposées aux élèves : une approche théorique où les élèves doivent déterminer, par calcul, le volume de HCl à verser pour neutraliser 50 ml d'une solution de NaOH (deux hypothèses sont données par l'enseignant alors que la troisième est à la charge de l'élève qui doit l'élaborer), et une approche expérimentale où les élèves mènent une expérience pour trouver le volume. La troisième hypothèse (H3), à formuler par les élèves, implique un raisonnement en termes de quantité de matière des deux solutions d'acide et de base. Elle met en jeu et exploite les connaissances des élèves vis-à-vis de plusieurs notions chimiques, à savoir la quantité de matière, la masse, la masse molaire, le volume, la concentration massique et la concentration molaire d'une solution. Ainsi, elle fait intervenir des calculs de quantité de matière susceptibles d'être problématiques pour les élèves ; il s'agit pour ces derniers de mobiliser plusieurs concepts et de comprendre le sens de leur calcul. Soulignons également que l'enseignant ne leur donne pas des éléments qui viennent spontanément sous leurs yeux pour le calcul de la quantité de matière : pour tout calcul qu'ils vont effectuer, ils doivent chercher par eux-mêmes les éléments pour le faire, notamment la masse molaire qui se trouve dans la classification périodique, la masse de la solution de soude, la concentration massique de la solution d'acide. Par ailleurs, la phase expérimentale du TP est à la charge des élèves qui doivent concevoir et réaliser un protocole expérimental permettant de donner une valeur du volume de HCl. La liste des matériels à utiliser est donnée dans l'énoncé. Afin d'obtenir un résultat scientifique, il est demandé aux élèves de confronter leurs réponses issues des deux approches théorique et expérimentale. Les élèves sont donc en l'occurrence amenés à faire une analyse critique de leurs manipulations, et de leurs résultats théoriques.

Ainsi concernant les deux premières dimensions du modèle ESFI (§ 2), l'analyse de la ressource montre que, par rapport à la *nature du problème*, la consigne est ouverte, mais le matériel est limité vu que la liste des matériels est donnée dans l'énoncé. En outre, *l'origine du questionnement* vient de la part de l'enseignant puisque c'est lui qui propose le problème. Les élèves semblent avoir une responsabilité importante par rapport au savoir en jeu, ils sont censés travailler en autonomie et construire par eux-mêmes la méthode appropriée pour résoudre le problème posé. Ceci met donc en évidence la possibilité pour cet enseignant, à travers la démarche qu'il propose dans cette ressource, de mettre en place des DI.

Mise en œuvre de la ressource : les PCK et les règles d'action

Nous présentons ici trois exemples de la séance de classe à partir desquels nous avons pu identifier des PCK, puis des règles d'action qui guident l'activité de Lucien par rapport aux trois dimensions du modèle ESFI : « diversité », « argumentation » et « responsabilité » (§ 2).

Nous avons remarqué à travers un exemple de la séance de classe que Lucien fixe des objectifs adaptés au niveau de l'élève et donc aménage la consigne du TP selon la difficulté ressentie par l'élève ou ses connaissances des capacités de l'élève. Dans cet exemple, Lucien précise à une élève le travail qu'elle doit faire en lui proposant de se pencher uniquement sur la partie expérimentale du problème posé. Nous observons que Lucien réduit la tâche que l'élève est censée faire et cela au tout début de la séance et avant l'identification de toute difficulté (après huit minutes du début de la séance et lors du premier

passage vers cette élève). Une PCK/difficulté est donc mise en jeu ici, nous la formulons comme ceci : « l'enseignant sait que certains élèves éprouvent des difficultés par rapport à l'approche théorique et aux calculs du bilan de matière et ont du mal à être autonomes et à s'impliquer seuls dans la situation proposée ». En outre, une PCK/stratégie est mobilisée par Lucien dans cet exemple : « l'enseignant sait que pour faire comprendre la notion de quantité de matière à des élèves en difficulté, il est intéressant de les faire travailler sur une approche expérimentale plutôt que sur une approche théorique et des calculs ». Par ailleurs, nous inférons une règle d'action mise en œuvre à travers cette PCK et liée à la dimension relevant de la prise en compte de la diversité des élèves : « adapter la situation à la spécificité de certains élèves ». Ces connaissances et la règle d'action que nous avons inférées sont appuyées par ce que dit Lucien suite au visionnage de cet extrait : *« bah elle (l'élève) tout de suite je vais la voir pour l'aider à s'approprier ce que je veux faire, et peut être personnaliser un petit peu les consignes que je lui donne quoi pour qu'elles soient plus adaptées à son profil particulier »* (EAC). Ajoutons aussi que dans l'entretien précédant l'observation de la séance DI, Lucien a déclaré qu'il va aider les élèves à se fixer un objectif adapté à leurs niveaux. Donc ceci appuie bien l'idée d'une règle d'action liée à la considération de la diversité des élèves, et qui le conduit à réagir de cette façon lorsqu'il identifie des difficultés ou reconnaît qu'une tâche est susceptible d'être problématique pour les élèves.

Dans un autre exemple d'extrait (voir tableau 2), nous observons que Lucien choisit de ne pas valider la réponse de l'élève E1 (le protocole expérimental proposé), mais de lui demander de discuter et d'échanger avec son binôme pour décider ensemble la mise au point du protocole expérimental. Ayant remarqué que l'élève E1 est presque sur la bonne route par rapport à la démarche expérimentale du problème, et que E2 est, par contre, en retrait et n'est pas engagée dans la réflexion, Lucien tente de relancer E2 et de l'impliquer dans la démarche en la forçant à échanger avec E1. Ainsi, Lucien engage les élèves dans une démarche collaborative d'apprentissage pour les faire avancer dans leur réflexion par confrontation de leurs points de vue. Nous en inférons ainsi une PCK/stratégie que nous proposons de formuler de la façon suivante : « l'enseignant sait qu'il faut laisser l'élève, qui arrive à dire que le changement de couleur indique la neutralisation acido-basique, se confronter à son camarade qui est loin de la construction de ce savoir ». La règle d'action de l'enseignant mise en œuvre à travers cette PCK est liée à la dimension correspondant au développement de l'argumentation : « faciliter la communication entre les élèves dans les petits groupes ». Cette règle d'action et la PCK que nous avons inférées sont vérifiées dans l'entretien d'autoconfrontation comme en témoigne la réponse de Lucien : *« là Dany, il a bien compris un peu ce qu'il faut faire au niveau expérimental, il maîtrise un petit peu la situation, donc il me raconte très bien, il est efficace pour expliciter les choses [...] Killy, sa voisine, bah elle reste complètement à côté, sur la touche quoi. Et donc ce que je vais essayer de faire après c'est de forcer Killy à se positionner là-dessus »*.

E1: à partir de 50 ml d'acide dans une éprouvette graduée, on va verser cette solution (il montre la solution de soude) dans un erlenmeyer, après on va faire comme avant, on va verser avec la burette graduée de l'acide et bah quand la solution sera neutre, on saura combien on a versé

P: et comment tu sauras qu'elle sera neutre?

E1: avec la couleur puisqu'on a du papier pH
P: bon, Killy c'est bon tout ça ou (le prof parle à une autre élève du binôme)
E2: non
P: non, mais vous avez discuté ensemble le protocole ou vous avez juste commencé
E2: non pas encore
P: alors mettez-vous au clair tous les deux. Dany, ce que t'as en tête essaye de l'expliquer à Killy,
E1: est-ce que c'est bon?
P: c'est Killy qui te dira si ça lui semble satisfaisant ou pas

Tableau 2. Extrait de la transcription de la séance de DI de Lucien avec le binôme 5

Par ailleurs, nous avons identifié dans cette séance de classe une situation particulière (voir tableau 3) : il s'agit d'un élève (E1) en décalage par rapport à son camarade E2. Alors que celui-ci raisonne sur l'approche théorique, on voit E1 passer tout de suite à la manipulation avant même de discuter ou de proposer un protocole possible à l'enseignant.

P: juste attendez, vous là je veux juste avant que vous continuez là sur votre lancée, c'est bien, dites-moi un peu où vous en êtes et ce que vous comptez faire
E2: là on a regardé avec combien de moles dans 0,25g; on a trouvé 0,00625. Après on a fait la même quantité de moles pour l'acide
E1 verse en ce moment la solution de soude dans le verre à pied
P: Lorenzo, quand je te demande d'attendre 30 secondes avant de te lancer, ok, bon
E1: mais ça sert à quoi d'attendre, je sais pas, tu arrives pas à faire un truc, tu fais des choses d'autres et après tu reviens dessus
P: ok, alors excuse-moi, juste un problème c'est que là dans (dans le verre à pied), y avait quoi avant?
E1: y avait juste de l'eau mais j'ai tout enlevé, j'ai essuyé
P: bon, pourquoi t'as choisi ce récipient ?
E1: bah pourquoi pas, je crois que c'est un récipient comme un autre, non?
P: ok (P prend l'énoncé du TP) donc là burette, comment s'appelle ça (P indique la burette)
E1: burette graduée
P: voilà, c'est où là dans, une burette graduée de 25 ml, sa potence et son verre à pied (P lit l'énoncé et indique le verre à pied)
E1: non c'est pas 25 ml, parce que 25 ml c'est jusque là, là j'ai 30 hein, j'avais déjà mis 100ml (dans l'éprouvette), là dans j'ai 30, je suis à 70
P: ok, alors pourquoi on dit qu'elle fait 25 ml ?
E1: puisqu'elle est graduée jusqu'à
P: parce qu'elle permet de mesurer des volumes jusqu'à 25, peut être tu as mis 30 dedans sauf que tu pourras pas mesurer au delà de 25
E1: alors je fais comment pour mettre que 25 ml là dans, c'est bizarre que ça commence là

le zéro (E1 veut indiquer le haut de la burette)
P: ah oui donc toi en fait tu mesures le volume avec ça (éprouvette), tu mets là dans juste pour verser
E1: bah non
P: Alors Lorenzo c'est pour ça que je te dis avant de te précipiter dans les manipulations, prend le temps d'en discuter avec Nadim, les questions que tu te poses là, est-ce que tu lui a posé, est-ce que vous avez réfléchi
E1: bah oui je les ai dit
P: mais tu me dis, regarde là, y a 25 ml pourquoi, moi je préfère me fier avec ça (éprouvette) et je verse là dans
E1: c'est bon y a 30 ml là (éprouvette)
P: et pourquoi t'as pas versé directement alors (avec l'éprouvette)
E1: là ce sera plus précis, si par exemple la valeur ce sera 27 virgule quelque chose ce sera plus précis avec ça
P: Nadim?
E2: je suis d'accord
P: t'es d'accord. Bon bah vas-y vas-y fais fais (P laisse l'élève faire l'expérience comme il veut)

Tableau 3. Extrait de la transcription de la séance de DI de Lucien avec le binôme 3

En effet, E1 éprouve des difficultés à faire des calculs et à trouver le volume de la solution d'acide en envisageant les trois hypothèses proposées dans l'approche théorique du TP, ce qui l'a conduit volontairement à sauter cette approche et à passer à l'étape suivante, à savoir la partie expérimentale. Dans cette dernière, l'élève semble avoir également des difficultés : il ne comprend pas le principe de mesure des volumes au moyen de la burette graduée. Ainsi, l'enseignant a développé une PCK/difficulté vis-à-vis de ce problème : « l'enseignant sait que les élèves éprouvent des difficultés à comprendre le principe de mesure et l'utilisation de la burette », comme en témoigne sa réponse : « là en gros ça on le voit et on le revoit à plein d'autres moments aussi avec d'autres groupes. Cette séance ça m'a permis d'identifier un problème sur l'utilisation de la burette que j'avais pas du tout anticipé, sur la précision, sur le volume de la burette, le fait qu'il y a pas graduation en bas, ça veut dire que pour les élèves le pourquoi d'une burette c'est pas évident et ça montre qu'ils l'ont pas compris » (EAC). Nous remarquons aussi que Lucien laisse l'élève procéder à son gré. Une PCK/stratégie est mise en jeu : « l'enseignant sait que pour faire comprendre à un élève en décalage le protocole expérimental de la neutralisation de la soude par l'acide, il faut le laisser mettre en œuvre l'expérience telle qu'il la conçoit ». Ainsi, Lucien se met en retrait afin que l'élève touche du doigt les problèmes qu'il rencontre dans l'expérimentation et afin qu'il réfléchisse à comment s'y faire en vue de consolider son apprentissage. La règle d'action que nous inférons et qui est mise en œuvre à travers cette PCK relève de la dimension de la responsabilisation des élèves dans la conduite de l'investigation, elle correspond à : « rendre les élèves responsables du processus d'investigation ». Les propos de Lucien semblent corroborer nos inférences : « là je veux dire je ne peux que laisser Lorenzo faire ses trucs, je pourrai lui dire c'est pas ça qu'il faut faire, il faut faire autrement

mais c'est pas ça l'objectif [...] bah c'est que il s'est pas posé le problème jusqu'au bout, et que ça sert à rien à ce stade de lui apporter une réponse qui viendra à une question qui ne s'est pas posée » (EAC). A la question quelle relation entre ce que tu as fait et les DI, Lucien répond : « eh bah c'est ça DI, c'est à dire il faut laisser la possibilité à l'élève de construire lui même ses connaissances et donc construire ses connaissances ça veut dire quoi, ça veut dire se poser les problèmes qui vont nécessiter justement une construction de connaissances pour répondre à ce problème là, et si on lui laisse pas faire ce travail là, on ne lui permettra pas de construire la intuition » (EAC).

Quelles orientations pour les DI ?

A partir du regroupement de l'ensemble des règles d'action identifiées, nous proposons de dégager des orientations de Lucien pour les DI par rapport à cinq dimensions : en effet, les analyses semblent révéler que Lucien ne se situe pas sur la sixième dimension relative à l'explicitation des buts, et des savoirs acquis. Aucune règle d'action relative à cette dimension n'a été identifiée. D'ailleurs, la séance observée ne contenait pas une phase de conclusion, ou autrement dit, un moment de structuration des connaissances.

A partir de la ressource d'une part, et de la mise en œuvre de cette ressource en classe d'autre part, nous situons les orientations de Lucien dans un espace à cinq dimensions. Nos données montrent que c'est la dimension relative à la prise en compte de la diversité des élèves qui mobilise, de la part de l'enseignant, plus de règles d'action que les autres dimensions ; En fait, pour prendre en compte la diversité des élèves, Lucien va jusqu'à adapter la situation à la spécificité de certains élèves. En outre, nous constatons que les dimensions « questionnement » et « argumentation » correspondent aux règles d'action centrées majoritairement sur l'enseignant dans la mise en œuvre de DI. En revanche, les autres dimensions relatives à la responsabilité confiée aux élèves, la nature du problème, et la prise en compte de la diversité des élèves correspondent aux règles d'action davantage centrées sur l'élève. Ainsi au cours de la mise en place de DI, Lucien, guidé par ses orientations, privilégie la prise en compte de la diversité des élèves, favorise la communication et la confrontation des points de vue entre les petits groupes, et tâche de rendre les élèves responsables du processus d'investigation.

Conclusion

Sur la base de la rareté des études empiriques sur les orientations de l'enseignement des sciences dans la littérature existante, notre étude vise à examiner de plus près une orientation spécifique, à savoir les orientations de l'enseignant pour les DI. Nous examinons ces orientations à travers les ressources de l'enseignant et leur mise en œuvre en classe, et nous dépassons, de fait, le discours de l'enseignant et donc le niveau déclaratif.

Le traitement des données nous a permis d'inférer des connaissances professionnelles que Lucien mobilise pour conduire une séance de DI, en particulier des PCK/difficulté et des PCK/stratégie. Plus largement encore, il nous a permis d'inférer des règles d'action mises en œuvre à travers ces PCK, et déterminées en référence au modèle ESFI à six dimensions. Nous avons relevé que les PCK sont des connaissances qui dépendent du contexte de la situation et du savoir en jeu.

Afin d'inférer les orientations de l'enseignant pour les DI à partir des règles d'action, nous avons choisi de considérer ces orientations comme une collection, un ensemble de règles d'action, celles-ci étant plus accessibles à la reconstruction à partir de l'action. Aussi, nous avons proposé d'écarter ces orientations des composantes de PCK avançant qu'elles sont indépendantes d'un savoir spécifique.

Dans la suite de nos travaux, nous continuons à explorer les connaissances professionnelles des enseignants mobilisées par la mise en place des DI, et nous questionnons l'évolution de ces connaissances au cours du temps, en particulier l'évolution des orientations pour les DI, ainsi que le rôle du collectif (Hammoud, 2011) dans cette évolution.

Bibliographie

Adler, J. (2010). La conceptualisation des ressources. Apports pour la formation des professeurs de mathématiques. In G. Gueudet & L. Trouche (dir.) *Ressources vives. Le travail documentaire des professeurs en mathématiques*, p. 23-39. Rennes : Presses Universitaires de Rennes et INRP.

Boilevin, J-M., & Brandt-Pomares, P. (2011). Démarches d'investigation en sciences et en technologie au collège : les conditions d'évolution des pratiques. In M. Grangeat (dir.) *Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique. Pratiques de classe, travail collectif enseignant, acquisitions des élèves*, p. 51-62. Ecole Normale Supérieure de Lyon.

Bulletin officiel de l'Education Nationale (2010), spécial n° 4 du 29 avril.

Calmettes, B. (2008). Quels modèles pour l'analyse de pratiques observées ? Exemples en didactique de la physique avec les démarches d'investigation. *Actes du Colloque International « Les didactiques et leurs rapports à l'enseignement et à la formation. Quel statut épistémologique de leurs modèles et de leurs résultats ? »*. Bordeaux : AFIRSE et IUFM d'Aquitaine.

Grangeat, M. (2010). Effets de la confrontation entre enseignants de sciences débutants sur leurs conceptualisations et leurs pratiques en ce qui concerne les démarches d'investigation. Papier présenté dans le cadre du Symposium *Le travail collectif enseignant : pratiques, modélisations, effets* dans le cadre du projet européen S-TEAM les démarches d'investigation. AREF : Genève (Suisse).

Grangeat, M. (à paraître). Modéliser les ESFI : identifier le développement des compétences professionnelles pour les individus et les collectifs. In M. Grangeat (dir.). *Le travail collectif dans les enseignements scientifiques fondés sur les démarches d'investigation : formations, pratiques, effets*.

Gueudet, G., & Trouche, L. (2010). Des ressources aux documents, travail du professeur et genèses documentaires. In G. Gueudet, L. Trouche (dir.), *Ressources vives. Le travail documentaire des professeurs en mathématiques*, p.57-74. Presses Universitaires de Rennes et INRP.

Hammoud, R., Le Maréchal, J.-F., & Trouche, L. (2010). Démarches d'investigation : conceptions et usages de ressources, impact du travail collectif des professeurs. In C. Loisy, J. Trgalova & R. Monod-Ansaldi (dir.), *Ressources et travail collectif dans la mise en place des démarches d'investigation dans l'enseignement des sciences*, p. 67-76, INRP.

Hammoud, R. (2011). Le travail collectif enseignant : un levier pour les démarches d'investigation. *Actes des deuxièmes journées d'étude S-TEAM, effets des démarches*



d'investigation dans l'enseignement et les apprentissages scientifiques, 10-12 mai 2011, Grenoble.

Magnusson, S., Krajcik, J., & Borko, H. (1999). Nature, sources, and development of pedagogical content knowledge for science teaching. In N. G. L. Julie Gess-Newsome (Ed.), *Examining Pedagogical Content Knowledge*, p. 95 - 132. Boston: Kluwer.

Triquet, E., & Guillaud, J.-C. (2011). Démarches scientifiques et démarches d'investigation : point de vue d'enseignants stagiaires de l'IUFM. In M. Grangeat (dir.) *Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique. Pratiques de classe, travail collectif enseignant, acquisitions des élèves*, p. 63-76. Ecole Normale Supérieure de Lyon.